N° d'ordre : 335

N° d'enregistrement au C.N.R.S. : A.O. 8915

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DE BORDEAUX I

pour l'obtention du Grade de

DOCTEUR ES-SCIENCES NATURELLES

par

Jean-Marie ARAN

Licencié ès-Sciences - Ingénieur E.S.E.R.B.
Chargé de Recherche à l'I.N.S.E.R.M.

ANALYSE DU FONCTIONNEMENT GLOBAL DU NERF AUDITIF

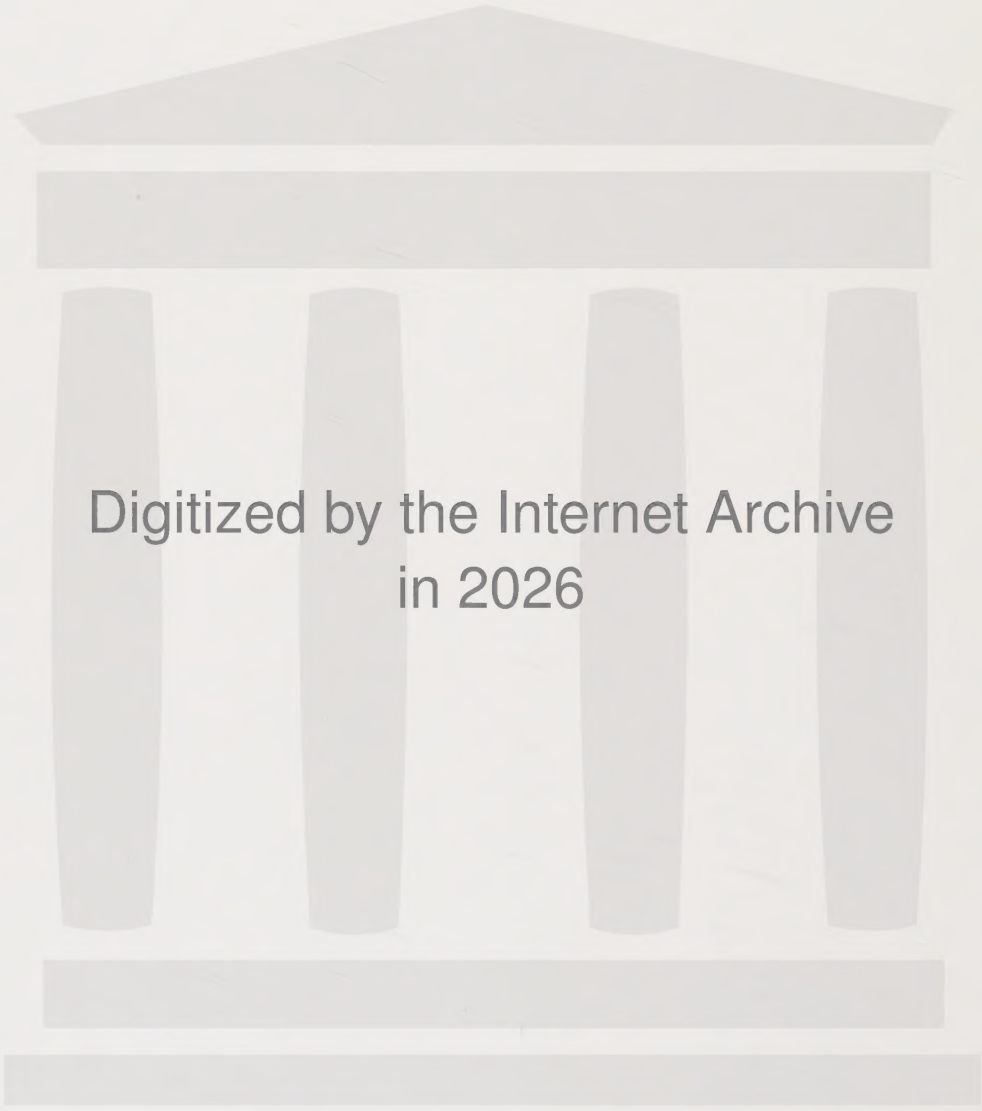
Etude Electro-Cochléographique normale et pathologique chez l'homme et vérifications expérimentales chez l'animal

---

Soutenue le 15 Septembre 1973 devant la commission d'examen :

M. B. CARDO, Professeur à l'Université de Bordeaux I	Président
M^me^ D. ALBE-FESSARD, Professeur à l'Université de Paris VI	Examinateurs
M. H. DAVIS, Directeur de Recherche au Central Institue for the Deaf (Saint-Louis, Mo, U.S.A.)	Examinateurs
M. M. PORTMANN, Professeur à l'Université de Bordeaux II ...	Examinateurs

1973


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547315_0004

N° d'ordre : 335

N° d'enregistrement au C.N.R.S. : A.O. 8915

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DE BORDEAUX I

pour l'obtention du Grade de

DOCTEUR ES-SCIENCES NATURELLES

par

Jean-Marie ARAN

Licencié ès-Sciences - Ingénieur E.S.E.R.B.
Chargé de Recherche à l'I.N.S.E.R.M.

ANALYSE DU FONCTIONNEMENT GLOBAL DU NERF AUDITIF

Etude Electro-Cochléographique normale et pathologique chez l'homme et vérifications expérimentales chez l'animal

---

Soutenue le 15 Septembre 1973 devant la commission d'examen :

M. B. CARDO, Professeur à l'Université de Bordeaux I	Président
M^me^ D. ALBE-FESSARD, Professeur à l'Université de Paris VI	Examinateurs
M. H. DAVIS, Directeur de Recherche au Central Institue for the Deaf (Saint-Louis, Mo, U.S.A.)	
M. M. PORTMANN, Professeur à l'Université de Bordeaux II ...	

1973

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A la mémoire de mon Père

A ma Mère

A ma Femme et à mon Fils

A tous les miens

A mon Maître

Monsieur le Professeur Michel PORTMANN

Qui m'a fait découvrir bien plus qu'il n'est rapporté dans cette thèse.

Que l'assurance de mon fidèle attachement soit l'expression de ma profonde reconnaissance pour l'exemple qu'il m'a donné et la confiance qu'il m'a toujours manifestée.

AVANT PROPOS

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur B. CARDO qui a bien voulu présider la commission d'examen après avoir critiqué et orienté mon travail. Je lui suis très reconnaissant de m'avoir consacré si utilement une partie de son temps.

Madame le Professeur D. ALBE-FESSARD m'a fait le grand honneur de s'intéresser à cette recherche et à sa progression et celui d'accepter d'en juger maintenant le résultat. Qu'elle trouve ici l'expression de ma respectueuse admiration et de ma profonde gratitude.

Ce travail n'est qu'une petite contribution à l'immense oeuvre accomplie - tant dans le domaine de l'électrophysiologie auditive que dans celui de l'audiométrie objective - par le Docteur Hallowell DAVIS, Directeur de Recherche au *Central Institute for the Deaf* (Saint-Louis, Mo, USA). L'intérêt qu'il a porté d'emblée aux premiers résultats obtenus, manifesté par sa première visite à Bordeaux en 1970 et par les nombreux entretiens qu'il m'a si amicalement accordés par la suite, m'a été d'un constant encouragement. Qu'il sache que le grand honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail avec les autres membres de la Commission d'Examen n'a d'égal que l'admiration que j'éprouve devant l'oeuvre accomplie et la

personnalité de son auteur.

Je suis heureux de manifester également ici ma reconnaissance aux Professeurs Merle LAWRENCE et J.E. HAWKINS jr., qui m'ont si chaleureusement accueilli pendant plus d'un an au *Kresge Hearing Research Institute* de l'Université du Michigan (Ann Arbor, Mich., USA). Ils m'ont appris, outre les bases de la physiologie de l'audition et des techniques de recherche, à mieux connaître leur langue et leur pays. Ils savent déjà l'attachement que je leur porte et combien je suis fier de pouvoir me dire leur élève.

Cette recherche n'a pu être conduite que grâce à l'étroite collaboration des membres du Service Universitaire d'Oto-Rhino-Laryngologie dirigé par Monsieur le Professeur Michel PORTMANN.

Je tiens tout d'abord à remercier les Médecins ORL, Assistants et Chefs de Clinique, qui se sont succédés au Laboratoire. Ce fut en premier lieu le Docteur G. LE BERT grâce à l'enthousiasme duquel cette recherche a pu être commencée, puis les Docteurs J. DELAUNAY, J. PELERIN et M. NEGREVERGNE qui ont chacun apporté à la progression des travaux le bénéfice de leur science et de leur art. Leur concours fut indispensable pour la réalisation des enregistrements. Grâce à eux l'intérêt de la Science n'a jamais que servi celui des malades.

Je dois à Madame le Docteur Cl. PORTMANN, Directrice du Laboratoire d'Audiologie Clinique, une profonde reconnaissance pour les facilités qu'elle m'a procurées dans son Service. Son enthousiasme pour la nouvelle méthode d'investigation de la fonction auditive qui grâce à cela a pu être développée a été pour moi un très vif encouragement quand on connaît l'attention prudente qu'elle porte à ses malades, en particulier aux enfants.

L'utilisation de cette méthode chez les très jeunes enfants n'a été possible également que grâce à la compétence du Docteur J. LENOIR, auquel je tiens à exprimer mes bien vifs remerciements.

Que Mademoiselle M.-T. TEULE et le personnel du Laboratoire d'Audiologie Clinique trouvent également ici l'expression de mes remerciements pour l'humeur égale avec laquelle ils ont supporté le désordre que j'ai pu créer dans l'organisation de leur travail et pour la gentillesse avec laquelle ils m'ont toujours aidé.

Je suis heureux enfin d'exprimer ici ma profonde gratitude aux membres du Laboratoire d'Audiologie Expérimentale pour l'aide tant morale que matérielle qu'ils m'ont apportée au cours de ce travail. Ainsi le Docteur J. DARROUZET, Mademoiselle Ch. COSTE et Madame A. GUILHAUME ont réalisé toutes les observations au microscope à contraste de phase et au microscope électronique sur les cochlées des cobayes utilisés lors des expérimentations. Le Docteur J. BOUSSENS m'a fait bénéficier de ses vastes connaissances oto-neuro-anatomiques et des résultats de ses observations chez l'homme comme chez l'animal. Monsieur R. CHARLET de SAUVAGE m'a considérablement aidé pour les calculs statistiques.

Que Monsieur J.-P. ERRE, mon collaborateur depuis mes débuts dans le Laboratoire, qui a étroitement participé à ce travail dont chaque enregistrement et chaque figure lui sont redevables, trouve ici, avec mes bien sincères remerciements, l'expression de mes sentiments très amicaux.

INTRODUCTION

Les phénomènes auditifs s'étudient essentiellement à travers deux approches différentes :

— l'approche psycho-physique permet d'étudier les caractéristiques de l'audition humaine. C'est, par exemple, l'étude du champ auditif : fréquences-intensités, courbes iso-soniques depuis le seuil d'audition jusqu'au seuil douloureux ou l'étude de sa finesse : seuils différentiels de hauteur et d'intensité (STEVENS et DAVIS, 1938 ; FLETCHER et MUNSON, 1933). Si dans ce domaine les techniques d'investigation des performances de la fonctions auditive sont toujours plus poussées, ces mêmes techniques sont également utilisées dans le but de mettre en évidence certains mécanismes ou de vérifier certaines hypothèses sur le fonctionnement propre du système auditif, depuis la périphérie jusqu'au niveau central.

— l'autre approche consiste en l'observation directe, objective, des différentes structures du système auditif (anatomie, ultrastructure) et des phénomènes physico-chimiques qui traduisent leur fonctionnement (électrophysiologie, biochimie).

Si ces deux approches se rejoignent au niveau des discussions des observations respectives, il est extrêmement rare de les trouver simultanément sur le même matériel expérimental, et cela pour l'unique raison que chacune d'elles n'est réalisable en général que dans un matériel particulier : l'homme pour les études psycho-physiques et l'animal pour les études objectives.

Seules les études psycho-physiologiques permettent les deux approches simultanées chez l'animal (conditionnement chez l'ani-

mal équipé d'électrodes par exemple), mais les observations en ce qui concerne les caractéristiques psycho-physiques chez l'animal sont, par rapport à ce que l'on sait faire chez l'homme, extrêmement difficiles si bien que l'on est pratiquement limité aux notions de seuil (MILLER, 1970) qui ne constituent qu'un aspect infime des caractéristiques de l'audition.

Ce n'est certes pas là un problème propre à l'audition : d'une manière générale, il est difficile d'envisager une solution satisfaisante au problème des relations entre une sensation, quelle qu'elle soit, et les données objectives expérimentales.

Cependant, chaque fois que des observations objectives ont pu être réalisées chez l'homme, elles se sont révélées d'un très grand intérêt car elles trouvent en outre souvent des applications très importantes dans les domaines du diagnostic et de la thérapie (ALBE-FESSARD et al., 1963).

1.– L'ETUDE OBJECTIVE DES PHÉNOMENES AUDITIFS CHEZ L'HOMME : LES DIFFÉRENTES APPROCHES.

En ce qui concerne l'audition, toutes les méthodes envisagées reposent sur l'observation d'une activité, en général électrique, élicitée ou modifiée par une stimulation sonore. C'est le cas de l'électro-encéphalographie (modification des tracés, potentiels évoqués), de l'électro-corticographie (réalisée au cours d'interventions neuro-chirurgicales). Une autre approche récente, non électrique, l'impédancemétrie, permet également d'observer un aspect du fonctionnement de l'oreille.

11.– L'électro-encéphalographie auditive

Celle-ci, depuis les premières observations (DAVIS, P.A., 1939 ; BANCAUD et al., 1953) a trouvé un regain d'intérêt lors de l'apparition des moyenneurs électroniques qui ont permis d'isoler le potentiel évoqué auditif de l'activité de base électro-encéphalographique. Différentes catégories de réponses peuvent être observées et classées d'après leur ordre chronologique d'apparition après le stimulus sonore (latences) (DAVIS, 1972, a et b).

— jusqu'à 50 msec. : les réponses rapides en provenance de différentes structures le long de la voie auditive, mélangées éventuellement avec des réflexes musculaires audiogènes (BICKFORD et al., 1964 ; GOLDSTEIN et RODMAN , 1967 ; YOSHIE et OKUDAIRA, 1969)

— de 50 à 300 msec. : les potentiels du vertex ou réponses lentes (DAVIS et ZERLIN, 1966) qui peuvent être évoquées par des stimulations auditives, visuelles et somatosensorielles, elles semblent provenir des zones de projection corticales de chaque afférence (ALLISON, 1962 ; GASTAUT et al., 1967 ; WALTER, 1964).

— au-delà de 300 msec. : c'est l'ensemble des réponses tardives, dans lesquelles on distingue : les réponses évoquées durant le sommeil (WILLIAMS et al., 1964), les ondes d'attente, ou variation négative contingente (WALTER et al., 1964) sous forme de polarisation négative après un signal d'alarme mais avant une réponse motrice conditionnelle, les polarisations négatives (KEIDEL, 1971a, 1972) qui se développent pendant une stimulation auditive continue . Ces réponses tardives peuvent être évoquées par des stimulations sonores significatives (telles que des mots par opposition à des syllabes sans signification) et sont envisagées pour réaliser une audiométrie vocale (parole) objective. Mais ces techniques présentent de nombreuses difficultés et sont encore au stade expérimental (FELDMAN et GOLDSTEIN, 1967).

Jusqu'à présent les réponses précoces (25 à 50 msec.), les potentiels évoqués lents du vertex et les réponses tardives durant le sommeil chez l'enfant, ont été utilisés principalement dans un but de diagnostic audiométrique.

12.– L'électro-corticographie

Celle-ci a pu être réalisée au cours d'interventions neuro-chirurgicales (CELESIA et al., 1968, CELESIA et PULETTI, 1969) et a permis de localiser l'aire auditive primaire chez l'homme à la surface supérieure du lobe temporal, au niveau des sillons antérieur et postérieur transverses. Des réponses peuvent cependant s'observer dans une région plus étendue incluant le cortex insulaire et son voisinage immédiat (CHATRIAN et al., 1960).

13.– L'Impédancemétrie

Cette technique permet de mesurer l'impédance mécanique de l'oreille moyenne et d'observer ses variations comme lors de la contraction réflexe des muscles de l'oreille moyenne (OLIVIER, 1971). Cette contraction, lorsqu'elle apparait après une stimulation sonore, est le signe que celle-ci a impressionné l'oreille interne et le nerf auditif. Comme elle n'est provoquée qu'au-dessus d'un niveau sonore relativement élevé (70 dB environ), on peut mettre en évidence une altération pathologique de la dynamique de l'oreille lorsque le seuil de ce réflexe reste normal alors que le seuil d'audition est lui plus élevé que la normale (recrutement), ce qui n'est pas le cas lors d'une surdité par simple défaut de transmission de la chaîne tympano-ossiculaire où les deux seuils sont élevés de la même manière par rapport à la normale.

14.– Possibilités et limitations de ces approches

A part l'électro-corticographie et, à un degré moindre, certains potentiels évoqués, toutes ces méthodes présentent un inconvénient majeur : on n'observe pas directement le fonctionnement du système auditif, mais une réponse réflexe secondaire, non spécifique, qui fait intervenir, outre tout ou partie du système auditif, un système associé, plus ou moins bien localisé.

– En ce qui concerne les réponses évoquées rapides (avant 50 msec.), on distingue actuellement trois types de réponses qui mettent en jeu des mécanismes différents et qu'il est difficile d'isoler dans les enregistrements. Ce sont : 1) la réponse post-auriculaire qui serait cochléo-myogène (YOSHIE et OKUDAIRA, 1969) ; 2) la réponse à l'inion qui serait au contraire vestibulo-myogène et en relation avec le saccule (TOWNSEND et CODY, 1971); enfin les réponses précoces au vertex et dans la région pariétale, où l'on trouverait à la fois des réactions cochléo-nerveuses, cochléo-musculaires et vestibulo-musculaires.

– Pour les potentiels évoqués lents du vertex, ceux-ci pouvant être évoqués à travers des modalités sensorielles différentes

(WALTER, 1964), bien qu'on puisse admettre, avec DAVIS (1972), que les potentiels évoqués auditifs lents du vertex sont spécifiques et proviennent bien des aires de projection corticales (homo et contra-latérales), il faut reconnaître que le signal peut être profondément affecté par les autres afférences et par l'activité de base aspécifique électro-encéphalographique.

— Enfin, en ce qui concerne l'observation de la contraction réflexe des muscles de l'oreille moyenne dans l'impédancemétrie : dans le cas du muscle stapédien l'arc réflexe emprunte la voie auditive jusqu'au complexe olivaire supérieur puis, par l'intermédiaire de la formation réticulée, les deux nerfs faciaux (réaction bilatérale). Dans le cas du muscle du marteau, l'arc réflexe n'est pas encore clairement établi : si on connait bien la voie efférente (le trijumeau), l'unanimité est loin d'être faite sur le mode de stimulation capable de le déclencher et a fortiori sur les voies afférentes qu'il emprunte (OLIVIER, 1971).

Il apparaît d'emblée que ces différentes observations souffrent de la limitation essentielle suivante : on ne peut chez l'homme approcher d'aussi près qu'il serait souhaitable, les différentes structures constituant le système auditif. Si jusqu'à présent on s'est surtout adressé aux manifestations électriques des centres supérieurs du système auditif (au niveau de l'électro-encéphalogramme), c'est que les mêmes observations, au niveau du récepteur, ont été jusqu'à ces dernières années, décevantes en raison de difficultés techniques, bien qu'elles aient été régulièrement envisagées et essayées depuis la première observation des phénomènes électriques périphériques de l'oreille interne chez l'animal (voir l'historique dans la première partie : I-1, page 14)

Plus on pourra s'approcher de l'entrée du système, plus on aura de chances d'observer un phénomène spécifique, par opposition à ceux observés à la sortie qui, comme on l'a vu, en raison de la mise en jeu, non seulement de l'ensemble du système auditif, mais aussi des structures centrales associées, sont des plus complexes.

C'est pourquoi, bénéficiant de progrès techniques récents, nous avons entrepris, simultanément à nos études chez l'animal, l'étu-

de des phénomènes auditifs au niveau du récepteur chez l'homme, étant assuré par ailleurs que la mise au point d'une méthode simple et pratique serait d'un grand intérêt sur le plan du diagnostic de la surdité.

2.– LES PHENOMENES ELECTRIQUES PERIPHERIQUES

L'activité électrique des structures cochléaires, complexe et difficile à observer au niveau de la cellule sensorielle ou nerveuse, se manifeste cependant par des phénomènes électriques globaux qui sont une image fidèle du fonctionnement de l'oreille interne. Les seuls phénomènes que nous considérons sont ceux qui sont provoqués par une stimulation sonore et que nous appelons réponses, à l'exclusion de tous les potentiels de repos que l'on peut trouver à l'intérieur de la cochlée en l'absence de stimulations (potentiel endocochléaire par exemple, BEKESY, 1952).

Lors d'une stimulation sonore, on observe deux types différents de réponses suivant qu'elles proviennent de différentes structures cochléaires (Fig. 1).

— D'une part, les réponses sensorielles (microphonique cochléaire et potentiel de sommation) dont la source se trouve au niveau des cellules ciliées de l'organe de Corti.

— D'autre part, les réponses nerveuses (potentiel d'action) émises par les fibres nerveuses à l'intérieur de la cochlée et du conduit auditif interne.

21.– Réponses sensorielles

211. *Potentiel microphonique cochléaire (M.C.) (Fig. 1)*

Découvert depuis très longtemps chez l'animal (phénomène de WEVER et BRAY, 1930), c'est un signal électrique produit par la vibration des cellules ciliées de l'organe de Corti, qui reproduit, dans certaines limites qui sont les limites mécaniques de la cochlée et donc a fortiori celles du champ auditif, la vibration sonore, comme le ferait un microphone. Mais la comparaison avec un microphone s'arrête là : ce n'est pas un phénomène uniquement mécano-électrique, mais mécano-bio-électrique. Il disparait progressivement en quelques heures après anoxie et mort de l'animal.

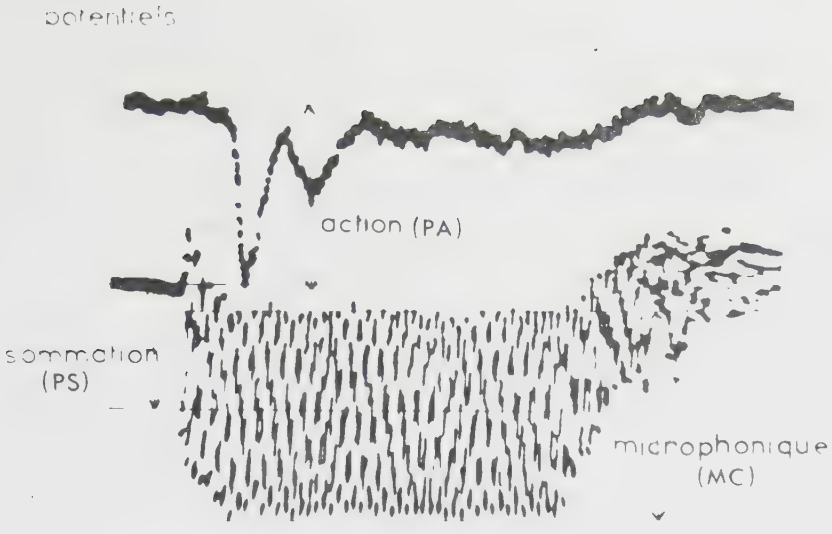


FIG. 1 : Réponses enregistrées au premier tour de la cochlée du cobaye au moyen d'électrodes différentielles (rampe vestibulaire - rampe tympanique) lors d'une stimulation par son bref de 4000 Hz (établissement instantané). Cette technique permet de mettre en évidence séparément les réponses sensorielles (MC et PS) dont la source est située entre les deux électrodes (organe de Corti) et la réponse nerveuse dont la source est plus éloignée (nerf auditif) et qui est la réponse du nerf au transitoire produit par l'établissement brutal du son pur (PA). Dans cette figure et les suivantes, lorsque la polarité des enregistrements n'est pas précisée, une déflexion des traces vers le bas est négative.

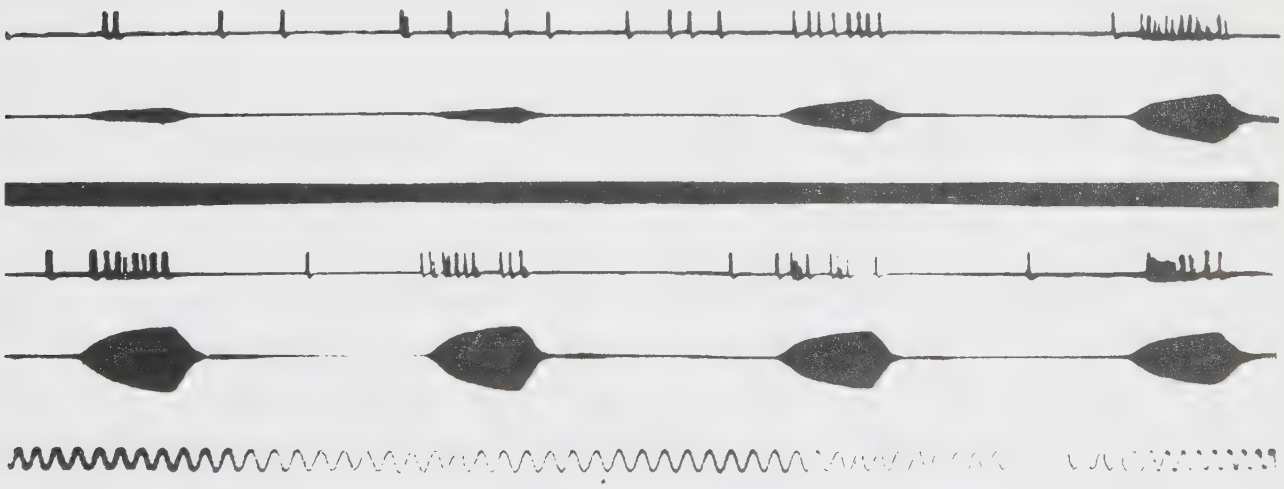


FIG. 2 - Activité d'une fibre du nerf auditif (trace du haut) lors de la présentation de sons brefs (5000 Hz) de différentes intensités (en-dessous). Echelle de temps : 10 ms (TASAKI, 1954). (négatif vers le haut).

* Voir IIème Partie, paragraphe 125,

212. *Potentiel de sommation (P.S.) (Fig. 1)*

Observé pour la première fois par DAVIS (DAVIS et al., 1958) chez le cobaye, c'est une polarisation particulière de l'organe de Corti, qui se produit lors d'un son et dont le signe et l'amplitude dépendent de l'intensité et de la fréquence du son, il varie également d'un point à l'autre le long de la membrane basilaire. Il est également produit lors de la vibration des cellules ciliées. Il pourrait jouer un rôle important dans la stimulation des terminaisons nerveuses. Il augmenterait, par des facilitations ou des inhibitions, le pouvoir analyseur de la cochlée (HONRUBIA et WARD, 1969).

Sans pouvoir encore affirmer que ces deux potentiels sont des intermédiaires essentiels entre la vibration des cellules ciliées et la stimulation des terminaisons nerveuses, on a pu observer, dans certains cas (traitements par antibiotiques oto-toxiques (DAVIS et al., 1958 ; HAWKINS, 1959 ; HAWKINS et al., 1967), lignée de souris sensibles à la crise audiogène (NIAUSSAT et LEGOUIX, 1967; DARROUZET et al., 1968) des diminutions très nettes de ces réponses, sans modification apparente du signal nerveux.

22.– **Réponses nerveuses**

221. *Réponses unitaires (Fig. 2)*

Après l'étape sensorielle de la réception de la vibration par les cellules ciliées et la création de ces potentiels microphonique et de sommation, a lieu l'étape ultime de la transformation du signal sonore en signal nerveux par la stimulation des fibres nerveuses au niveau des terminaisons et synapses avec la cellule ciliée. Dans chaque fibre apparaissent des potentiels d'action unitaires (spikes) qui, par leur séquence à l'intérieur d'une fibre et par le nombre et la nature des fibres dans lesquelles ils apparaissent, représentent, sous forme nerveuse codée, l'information sonore initiale (TASAKI, 1954 ; KIANG, 1965).

222. *Réponse globale (P.A.) (Fig. 1)*

L'observation des potentiels produits par une cellule ciliée ou dans une fibre nerveuse, est extrêmement intéressante mais

très délicate (utilisation de micro-électrodes) et ne donne qu'une information élémentaire sur le fonctionnement de l'ensemble de la cochlée et du nerf auditif (12000 cellules ciliées, 50000 fibres). Fort heureusement cependant l'observation de phénomènes globaux est à la fois plus facile (utilisation de grosses électrodes) et permet d'obtenir une information globale sur l'ensemble des structures stimulées. En effet, de même que les courants microphoniques produits par chaque cellule ciliée se combinent pour donner un phénomène global qui semble provenir de l'ensemble de la cochlée : le microphonique cochléaire, de même les potentiels d'action unitaires des fibres nerveuses se combinent lorsqu'on considère l'ensemble du nerf, pour donner ce que l'on appelle le potentiel d'action global - ou composite - du nerf auditif. Cependant la combinaison de ces réponses unitaires, telle qu'elle se fait dans l'enregistrement "à distance" de l'activité du nerf auditif, ne donne que dans certaines conditions un phénomène global facilement observable. Bien que les mécanismes de production de la réponse nerveuse globale, ainsi que les stimulations appropriées pour l'éliciter soient décrits dans le détail plus loin (§ 31, page 122) rappelons dès maintenant que l'essentiel pour la provoquer d'une manière nette est de déclencher les fibres nerveuses le plus rapidement possible, l'idéal étant simultanément. On a donc recours à des stimulations sonores les plus brèves, par définition des transitoires.

3.– INTERET DE L'ETUDE DU POTENTIEL D'ACTION GLOBAL DU NERF AUDITIF

L'enregistrement du microphonique en réponse à des stimulations sonores de différentes fréquences et intensités permet de représenter le fonctionnement mécanique de la cochlée et celui des cellules ciliées dans les deux dimensions du champ auditif. Cependant, contrairement aux phénomènes nerveux et psychophysiologiques, pour lesquels on peut déterminer un seuil d'excitabilité, il n'y a pas, dans le cas du microphonique cochléaire, de seuil proprement dit. Ce potentiel -mécano-bio-électrique- étant proportionnel à l'énergie sonore, ne peut être nul théoriquement que lorsque celle-ci est nulle.

---

* Habituellement décrit, chez l'animal, comme une succession de pics négatifs d'amplitude décroissante, N_1, N_2, N_3.

L'observation des réponses nerveuses, que ce soit les réponses unitaires au moyen de micro-électrodes, ou le potentiel d'action global au moyen d'une grosse électrode placée au voisinage de la cochlée ou sur le nerf auditif, fournit, elle, des renseignements sur la dernière étape périphérique de la réception des sons. Ces réponses sont donc tout à la fois fonction de la qualité du nerf auditif lui-même et de celle des stimulations qui lui sont appliquées par l'intermédiaire des cellules ciliées. Le potentiel d'action global est donc l'image du fonctionnement de l'ensemble de l'organe périphérique : oreille moyenne, oreille interne et nerf auditif.

Enfin, dans le cadre de l'étude du fonctionnement du récepteur périphérique proprement dit, l'étude de la réponse globale du nerf auditif nous a paru extrêmement nécessaire : les études électrophysiologiques expérimentales ont surtout porté sur les mécanismes sensoriels (par l'intermédiaire du microphonique cochléaire) d'une part, sur l'activité unitaire des fibres d'autre part, étude qui a eu, ces dernières années, un développement considérable. Or, à part quelques études occasionnelles (TEAS, ELDREDGE et DAVIS, 1962) la réponse nerveuse globale ne nous paraît pas avoir reçu toute l'attention qu'elle méritait : cette réponse a été surtout considérée comme un signe d'activité du nerf auditif, alors qu'elle contient une information précise sur le fonctionnement quantitatif et qualitatif du nerf et, par son intermédiaire, de l'ensemble du récepteur.

Les études morphologiques ultrastructurales d'une part, les études unitaires d'autre part, ont montré exhaustivement la complexité du récepteur qui réside davantage dans l'organisation d'éléments en eux-mêmes bien définis : des cellules sensorielles (12.000) (comparables à des récepteurs tactiles) et des fibres nerveuses (50.000). Or ces deux approches : ultrastructurale et électrophysiologique unitaire n'ont pas encore pu se rejoindre et il semble que, dans ce but, l'observation d'une réponse globale, plus représentative du fonctionnement de l'ensemble organisé que de celui des éléments discrets qui le constituent, doive apporter, en fonction des résultats des autres approches, des notions plus précises sur l'organisation et donc sur le fonctionnement de l'ensemble.

En résumé, l'étude du potentiel d'action global du nerf auditif, chez l'homme et chez l'animal, doit permettre de faire le pont :

— entre les différentes données expérimentales sur le plan de l'organisation du récepteur, d'une part,

— entre celles-ci et les données psycho-physiques de l'audition, d'autre part.

* *

*

PREMIERE PARTIE

ETUDE DU POTENTIEL D'ACTION GLOBAL DU NERF AUDITIF CHEZ L'HOMME

1.- MÉTHODE D'OBSERVATION :

«ELECTRO-COCHLÉOGRAPHIE»

11.- HISTORIQUE

Dès la découverte du phénomène microphonique cochléaire chez l'animal (WEVER et BRAY, 1930), et bien avant son interprétation précise, l'intérêt de l'observation des réponses électriques cochléaires chez l'homme a été remarqué.

Ainsi, dès 1935 (FROMM et al.) puis en 1939 (ANDREEV et al.) et en 1941 (PERLMAN et CASE), des tentatives d'observation des réponses microphoniques chez l'homme ont été présentées. Plus tard une nouvelle tentative était effectuée par LEMPERT et al. (1947). Plaçant une électrode sur la membrane de la fenêtre ronde lorsque celle-ci pouvait être exposée au cours d'une intervention chirurgicale, ils purent obtenir des enregistrements du microphonique cochléaire plus satisfaisants, bien que l'amplitude des signaux fut très faible. Plus tard, désirant appliquer la méthode en dehors des interventions chirurgicales, ils essayèrent d'enregistrer au moyen d'une fine électrode métallique rigide piquée directement, sous anesthésie locale, à travers le tympan, sur le promontoire osseux de la cochlée. L'amplitude encore plus faible des signaux microphoniques leur interdit d'envisager l'utilisation clinique de tels enregistrements (LEMPERT et al., 1950). Aussi les recherches dans ce domaine allaient-elles être abandonnées pendant plusieurs années, malgré quelques tentatives épisodiques toujours orientées vers l'observation du seul mi-

crophonique cochléaire (KREJCI, 1949 ; KREJCI et BORNSCHEIN, 1950 ; BRINKMAN et TOLK, 1961 ; GAVILAN et SANJUAN, 1964 ; FLACH et SEIDEL, 1968 ; FINK et al., 1969). Cependant, vers la fin des années 50, les possibilités techniques s'étant améliorées, en même temps que se précisaient les connaissances sur les réponses cochléaires chez l'animal, RUBEN et ses collaborateurs présentaient des enregistrements beaucoup plus clairs et surtout, pour la première fois en 1960, des enregistrements du potentiel d'action global en réponse à une stimulation par clic (RUBEN et al., 1960) (Fig. 3). Ainsi, jusqu'en 1957, et en n'ayant eu que très occasionnellement recours aux nouvelles techniques de moyennes, son équipe a présenté des résultats intéressants, tant chez l'adulte que chez l'enfant et dans diverses situations pathologiques (RUBEN, 1963, 1967 ; RUBEN et al., 1959, 1960, 1961, 1962 et 1963 ; BORDLEY et al., 1964). Cependant tous ces enregistrements étaient effectués au cours d'interventions chirurgicales. Ils apparaissaient délicats et encore trop incertains du fait qu'ils n'utilisaient pas la technique des moyennes, qui permet maintenant d'obtenir des enregistrements beaucoup plus nets et en particulier de descendre jusqu'au seuil. Enfin, ils s'intéressaient aussi bien au microphonique cochléaire qu'au potentiel d'action. Malgré, en outre, une tentative intéressante par RONIS (1966), qui utilisait, lui, la technique des moyennes, mais uniquement en cours d'intervention chirurgicale puisqu'il s'agissait de vérifier l'efficacité du temps fonctionnel lors de la chirurgie reconstructive de l'oreille moyenne, une méthode ne devait vraiment se développer qu'à partir de 1967. Ainsi, principalement YOSHIE (et al., 1967) le premier, a montré des enregistrements très nets du potentiel d'action du nerf auditif obtenus en dehors de toute chirurgie (à partir du conduit auditif externe) (Fig. 4) . Nous-mêmes développions à la même époque la méthode utilisée maintenant couramment dans le Service d'Audiométrie clinique de l'Hôpital.

Nous avons pratiquement suivi dans nos recherches, les étapes parcourues par les différents chercheurs depuis les premières tentatives par FROMM et al., (1935), à l'exception d'une seule que nous n'avons jamais envisagée : l'enregistrement de ces réponses au

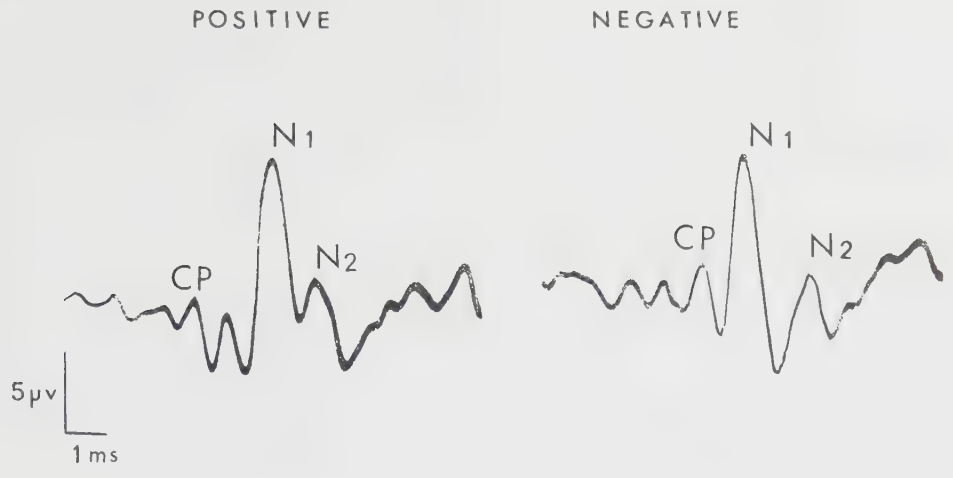


FIG. 3 - Réponses enregistrées au niveau de la fenêtre ronde chez l'homme pour deux stimulations par clic de phase opposée. (CP : microphonique ; N1, N2 : réponse nerveuse) (négatif vers le haut) (RUBEN, 1967)

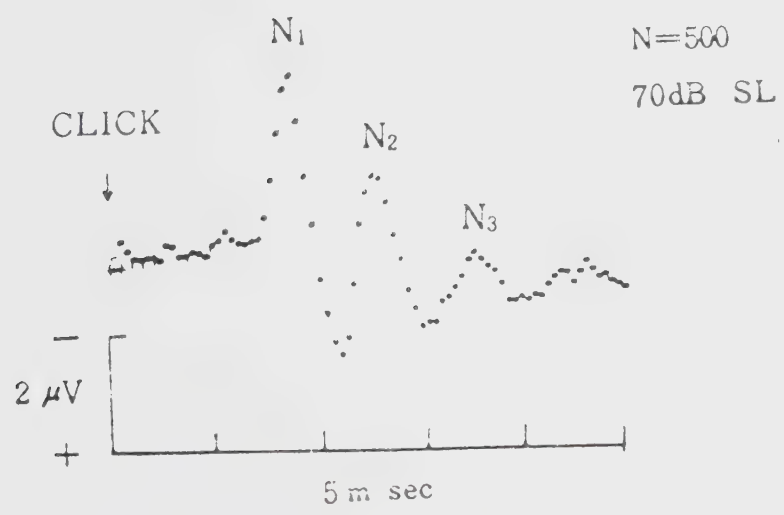


FIG. 4 - Réponse moyenne au clic chez l'homme, enregistrée dans le conduit auditif externe (négatif vers le haut) (YOSHIE et al., 1967)

cours d'interventions chirurgicales. En effet, nous avons d'emblée recherché une méthode qui permette de réaliser de tels enregistrements en dehors de toute chirurgie afin qu'elle soit utilisable en tant qu'examen du fonctionnement de l'oreille interne normale et pathologique.

Ainsi nos premiers travaux ont porté sur l'observation des potentiels cochléaires chez des sujets présentant une vaste perforation sèche du tympan à travers laquelle on pouvait apercevoir la fenêtre ronde (PORTMANN et al., 1967). Une électrode souple de 50 µ de diamètre, en nickel-chrome, dont l'extrémité était arrondie en boucle, était placée dans la niche de la fenêtre ronde. On n'obtenait cependant que des réponses d'amplitude très faible pour des stimulations sonores intenses (Fig. 5). Nous avons ainsi constaté qu'il était nécessaire de recourir à la méthode déjà utilisée dans l'observation de potentiels évoqués : la technique des "moyennes" qui consiste à sommer, dans des mémoires, les réponses successives à un train de stimulations identiques. Ce faisant, on améliore le rapport signal/bruit et on peut observer des réponses d'amplitude plus faible, indiscernables directement à cause du bruit de fond électrique et bio-électrique. Cette technique nous a en effet permis d'observer des réponses très nettes pour des stimulations beaucoup moins intenses (PORTMANN et al., 1968) (Fig. 6). Nous avons alors tenté d'introduire directement l'électrode de la même manière chez des sujets présentant un tympan normal. Cependant, malgré la paracentèse* nécessaire, l'approche de la fenêtre ronde fut toujours délicate et le contact de l'électrode incertain si bien que les enregistrements, malgré la moyenne, n'étaient pas suffisamment précis pour être exploitables cliniquement. Nous inspirant alors de la solution présentée par LEMPERT et al., dès 1950, et grâce à l'utilisation du moyenneur électronique, nous avons entrepris d'utiliser une électrode très fine mais rigide qui, après avoir traversé le tympan, était appuyée sur le promontoire. Cela fut réalisable chez l'adulte sous simple

---

* Perforation chirurgicale du tympan.

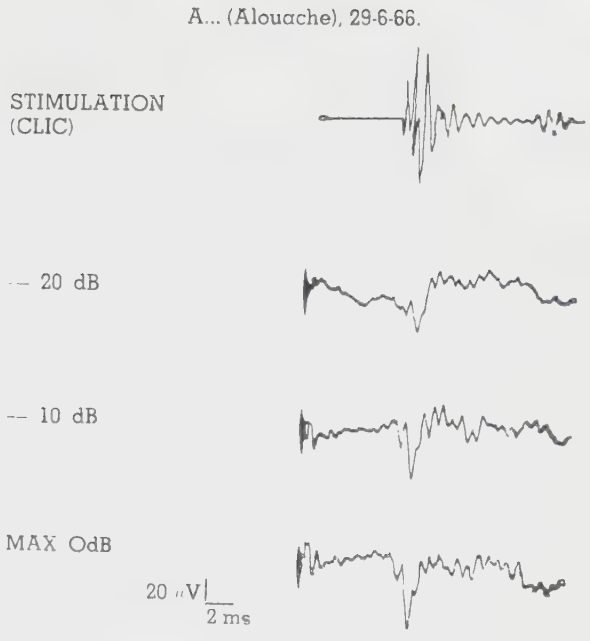


FIG. 5 - Réponses uniques enregistrées au niveau de la fenêtre ronde chez un sujet présentant une perforation sèche du tympan (PORTMANN et al., 1967)

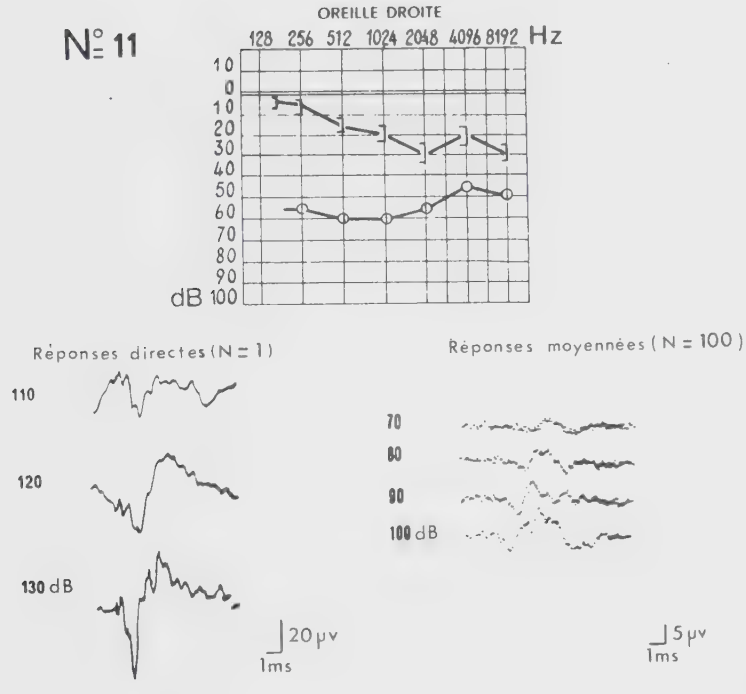


FIG. 6 - Réponses uniques (à gauche) et moyennes (à droite) enregistrées chez un sujet présentant une perforation du tympan, au niveau de la fenêtre ronde. Au-dessus l'audiogramme tonal en voie osseuse (/) et en voie aérienne (o) objective une surdité de transmission.
Dans cette figure et les suivantes, les seuils sont représentés ainsi :
Conduction aérienne : oreille droite : o , oreille gauche : x
Conduction osseuse : oreille droite : [, oreille gauche :]
(PORTMANN et al., 1968)

anesthésie locale du tympan, et les résultats ont été d'emblée très satisfaisants (ARAN et LE BERT, 1968) (Fig.7). Améliorant progressivement la qualité de l'électrode et celle des appareils de stimulation et d'amplification, nous avons alors abouti à la mise au point d'une méthode qui s'est révélée, depuis l'utilisation clinique intensive qu'il en est fait depuis 4 ans, très sûre et d'un intérêt extrême dans le diagnostic de la surdité et des troubles de la sphère otologique, tant chez l'adulte que chez l'enfant et le nourrisson. Cette méthode, ainsi que nous l'avons définie, est maintenant reproduite fidèlement dans de nombreux centres, tant cliniques que de recherche, Français et étrangers (TYBERGHEIN, 1972 ; EGGERMONT et al., 1973).

12.— LE PRINCIPE

Nous allons exposer les différentes démarches qui ont conduit à l'établissement de la méthode définitive. En effet, il a fallu opérer certains choix, en particulier en ce qui concerne le placement de l'électrode d'enregistrement, la nature de la réponse à rechercher et la nature des stimulations. De même, il a fallu mettre au point de nombreux détails pratiques avant d'arriver à l'établissement d'un protocole d'examen qui soit réalisable facilement dans tous les cas, qui donne des résultats précis et fiables, quels que soient l'âge du sujet et son degré de surdité. Il est à noter que notre expérience présente deux volets : d'une part, tous les examens qui ont été réalisés avant l'établissement de la méthode définitive, et à partir desquels celle-ci a été élaborée ; d'autre part, l'ensemble des enregistrements qui ont été réalisés ensuite selon cette méthode, avec le même matériel et qui constitue le matériel sur lequel portera la discussion des résultats.

121.— Choix de la position de l'électrode

Après avoir constaté d'une part qu'il était difficile de placer une électrode dans la niche de la fenêtre ronde à travers un tympan normal, d'autre part qu'il n'était plus nécessaire, grâce à l'utilisation du moyenneur, de se placer aussi près que possible de

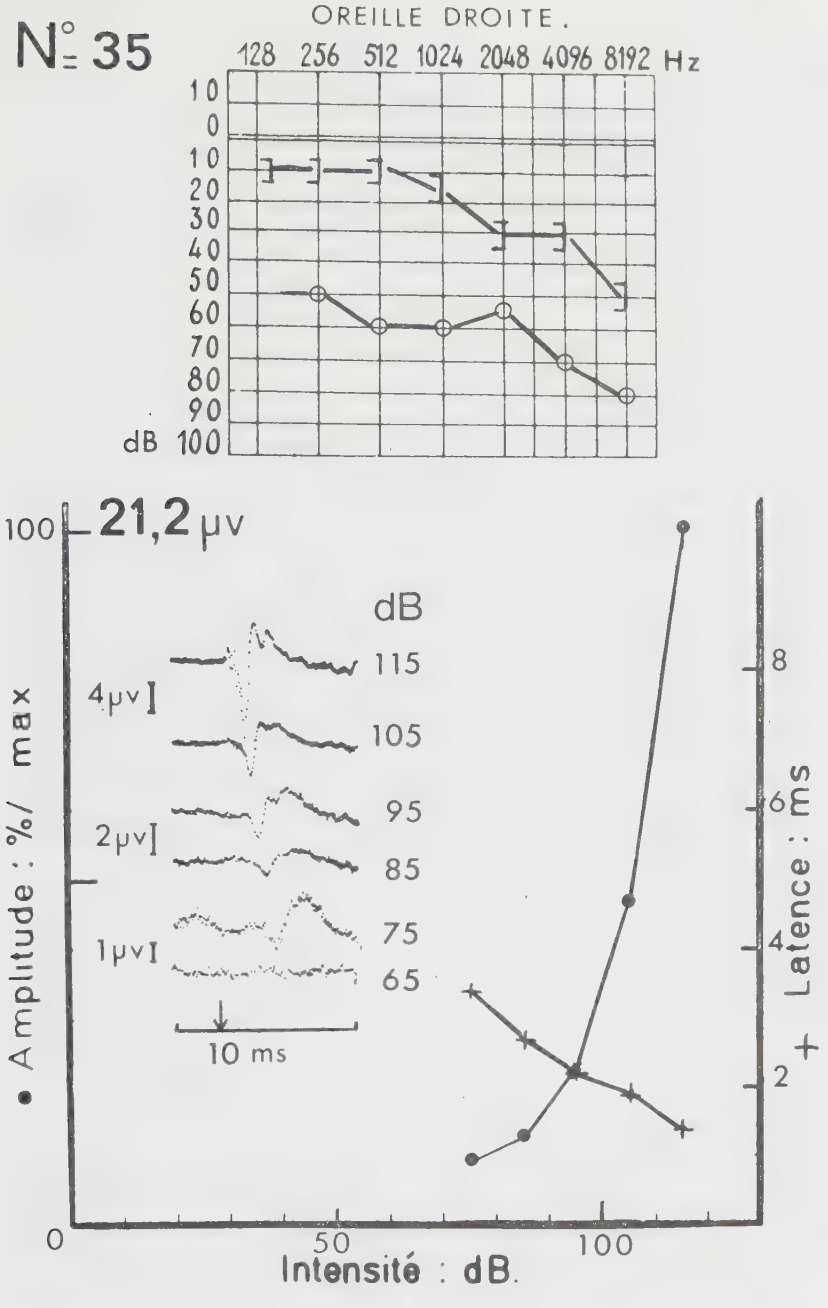


FIG. 7 - Réponses moyennes (N = 100) enregistrées au niveau du promontoire chez un sujet présentant une perforation du tympan (surdité de transmission) et courbes représentant les valeurs de l'amplitude et de la latence aux différentes intensités (courbes entrée-sortie). (ARAN et LE BERT, 1968). Comme pour les figures suivantes, l'amplitude est exprimée en % de l'amplitude maximum qui est indiquée en haut du graphique. L'amplitude (•) est repérée sur l'axe vertical gauche, la latence (+) sur l'axe vertical droit.

la source des potentiels, nous avons adopté la technique de LEMPERT et al. (1950) et enregistré au niveau de la coque osseuse de la cochlée, au moyen d'une électrode transtympanique.

D'autres méthodes ont été cependant proposées en particulier par SOHMER et FEINMESSER (1967) (également MOORE, 1971), à partir du lobule de l'oreille externe (Fig. 8) et par SPRENG et KEIDEL (1967) à partir du scalp, de la mastoïde ou du palais (KEIDEL 1971) (Fig. 9). Cependant, plus on s'éloigne de la source des potentiels, plus l'amplitude des signaux est faible et plus leur observation, malgré des techniques de moyenne très poussées, est délicate. Les résultats obtenus par ces deux méthodes ne permettent pas pour l'instant d'envisager leur utilisation clinique, elles sont par contre intéressantes pour étudier la diffusion des réponses électriques du nerf auditif, et pour observer simultanément les réponses des différents relais de la voie auditive. Par contre, la technique japonaise (YOSHIE, 1967 ; SALOMON et ELBERLING, 1971 ; COATS et DICKEY, 1970) est plus satisfaisante (Fig. 4) : les enregistrements au niveau du conduit auditif externe présentent en effet l'avantage considérable de ne pas concerner le tympan et nous les avons essayés simultanément avec notre méthode transtympanique, chez une vingtaine de sujets. Plaçant notre électrode sur le promontoire à travers le tympan et une autre électrode dans la peau du conduit auditif externe près de l'annulus tympanicus, en regard de la fenêtre ronde, nous avons enregistré sur deux voies différentes et, après analyse, nous avons constaté (ARAN et LE BERT, 1968) que :

— sur des oreilles normales, il est effectivement possible d'enregistrer à partir de l'électrode externe des réponses qui, bien que d'amplitude plus faible qu'au niveau du promontoire (réduction de l'ordre du 10ème), sont très nettes ;

— par contre, sur des oreilles plus ou moins atteintes, et surtout dans les cas de surdité profonde (entre 80 et 90 dB), alors qu'au niveau du promontoire on obtient toujours des réponses nettes et des seuils en accord avec l'audiogramme, cela est beaucoup plus incertain au niveau du conduit auditif externe.

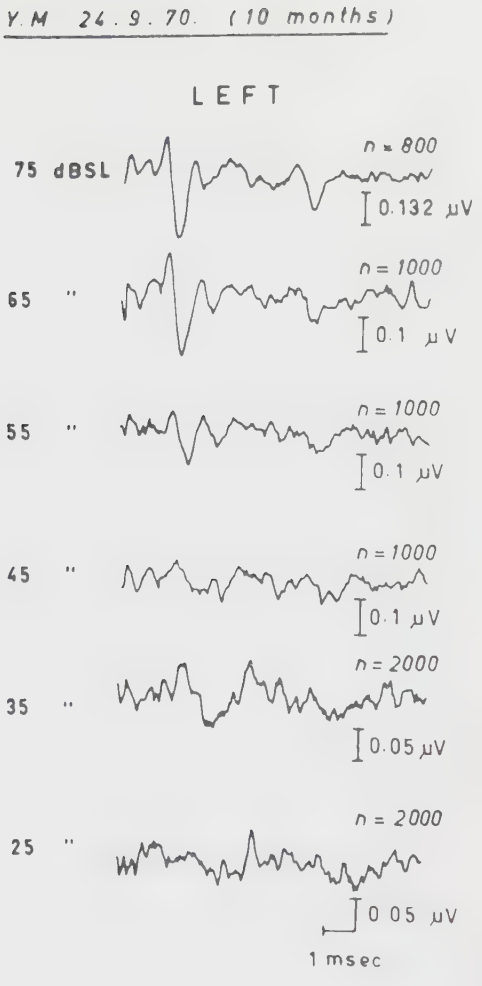


FIG. 8 – Réponses moyennes enregistrées sur le lobe de l'oreille (négatif vers le haut) (SOHMER et al., 1972)

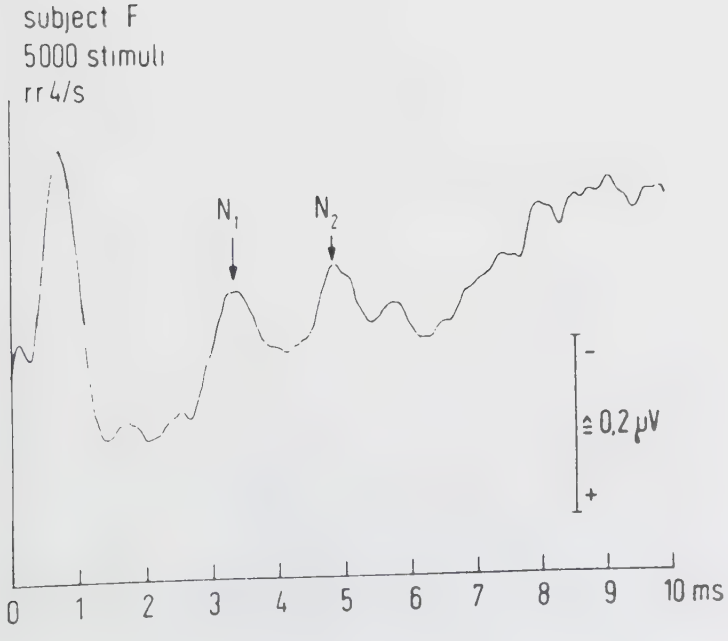


FIG. 9 – Réponses moyennes du nerf auditif enregistrées au niveau du palais (KEIDEL, 1971).

— la mise en place d'une électrode dans le conduit peut être plus douloureuse qu'à travers le tympan et, la plupart du temps, il a fallu réaliser une anesthésie locale du conduit par infiltration de xylocaïne alors que pour traverser le tympan, seule l'anesthésie locale de celui-ci, par contact (gel de xylocaïne), est suffisante.

Enfin YOSHIE, depuis, enregistre maintenant au moyen de l'électrode transtympanique et a confirmé nos observations concernant l'électrode externe (YOSHIE et YAMAURA, 1969 ; YOSHIE et OHASHI, 1969). Cette méthode transtympanique est d'ailleurs maintenant adoptée par beaucoup, malgré une réserve initiale qui tombait en raison de la qualité des enregistrements qu'elle permet d'obtenir et de leur intérêt pour le malade.

Ainsi, en janvier 1973, nous avions examiné à Bordeaux plus de 700 oreilles; nous n'avons remarqué aucun incident, que ce soit lors de la mise en place de l'électrode et lors de la cicatrisation de la perforation infime réalisée dans le tympan par le passage de l'électrode (0,2 mm de diamètre) qui est très rapide (REIJNEN et KUIPJERS, 1971). Cette mise en place a toujours été possible chez l'adulte et même chez l'enfant autour de 8 ans sous simple anesthésie locale. Evidemment chez le très jeune enfant on a recours à l'anesthésie générale, essentiellement pour obtenir l'immobilité de l'enfant. *Celle-ci* garantit des enregistrements bilatéraux précis et rapides dont l'intérêt pour le jeune enfant testé est considérable dans la mesure où ils apportent une solution radicale au problème du diagnostic de la surdité toujours difficile, quand il n'est pas impossible, à porter dans ces cas-là.

122.— Nature de la réponse recherchée

Les premiers enregistrements chez l'homme ont porté uniquement sur la réponse microphonique, la mieux connue à l'époque. Cependant à partir d'une électrode cochléaire on enregistre simultanément les réponses sensorielles et les réponses nerveuses. Celles-ci étant de natures très différentes, leur observation ne présente pas le même intérêt.

Nos propres travaux nous ont très vite conduit à ne considérer que la réponse nerveuse, ou tout au moins à ne pas considérer la réponse microphonique, cela pour de nombreuses raisons :

— le potentiel microphonique chez l'homme est un signal d'amplitude extrêmement faible (YOSHIE et YAMAURA, 1969 ; RUBEN, 1967), en particulier par rapport à celle du potentiel d'action, surtout aux faibles intensités.

— ce microphonique ne présentant théoriquement pas de seuil, le seul critère à considérer serait son amplitude, or celle-ci peut-être dépendante des conditions d'enregistrement (position de l'électrode par rapport à l'organe de Corti ; épaisseur de la paroi osseuse de la cochlée ; nature de la muqueuse sur celle-ci et conditions dans lesquelles se fait la diffusion des potentiels, en particulier conditions anatomiques).

— Enfin, et c'est là l'objection majeure à l'observation du microphonique cochléaire : il est très difficile de certifier que le signal microphonique toujours très faible que l'on pourrait observer est bien produit par l'organe de Corti. En effet, il peut être mélangé à tout autre phénomène microphonique, électro-mécanique par exemple, l'électrode pouvant vibrer lors de la stimulation sonore. C'est pourquoi, malgré l'intérêt que pourrait présenter l'enregistrement de ce potentiel, et devant les difficultés qui apparaissent tant dans sa mesure que dans son interprétation, nous avons préféré d'emblée ne nous intéresser qu'au potentiel d'action du nerf, tout au moins chez l'homme. Il est certain que cette option a été déterminante pour la simplicité et la fiabilité de la méthode alors développée.

123.— Nature des stimulations

Un "transitoire acoustique"* est nécessaire pour faire apparaître une réponse globale nette du nerf auditif. Son rôle est le

---

* L'établissement ou l'extinction soudains d'un son pur sinusoïdal dans une pièce produit des *transitoires* qui sont définis, sur le plan physique, par les temps d'établissement ou d'extinction (ou temps de montée et de descente) du signal sonore et, sur le plan physiologique, par les temps d'établissement et d'extinction de la sensation sonore. Si pour une impulsion sonore les temps de montée et de descente sont égaux et si les deux phénomènes (physique et physiologique) sont considérés ensemble, on peut parler de processus, temps et intensités transitoires (BEKESY, 1960). D'une manière générale le fonctionnement d'un système (electronique, mécanique ou autre) peut s'étudier soit en *régime permanent* soit, par opposition, en *régime transitoire.*

même, vis-à-vis de la cochlée et du nerf auditif, que celui du choc électrique ou du flash utilisés pour stimuler directement respectivement un nerf ou la rétine quand on veut observer leur réponse globale.

D'une manière générale, le rôle du transitoire (acoustique, électrique ou optique) est de déclencher à un instant donné tout ou partie des cellules réceptrices et nerveuses de telle sorte que la sommation des réponses individuelles bien synchronisées (telle qu'elle se fait lors des enregistrements au moyen de grosses électrodes, sur le nerf ou à distance) donne un signal global net et facilement observable.

Dans le cas du nerf auditif, la stimulation la plus couramment utilisée est le "clic" produit dans un haut-parleur par une impulsion rectangulaire très courte (0,1 ms). L'onde sonore qui en résulte n'est pas une onde rectangulaire mais un signal acoustique transitoire pour lequel on trouve, lorsqu'on l'analyse,un spectre continu s'étendant sur la quasi totalité des fréquences audibles, comme on peut s'y attendre à partir de l'analyse mathématique du signal rectangulaire originel. Evidemment ce spectre dépend également en grande partie des caractéristiques mécaniques du transducteur (voir Fig. 20, page 37).

La réponse à cette stimulation est facile à observer : c'est le potentiel d'action global du nerf auditif dont, d'une manière très schématique :

— la forme traduit le degré de synchronisation des impulsions unitaires des fibres,

— l'amplitude dépend du nombre de fibres recrutées par cette stimulation et de leur synchronisation.

Les facteurs qui conditionnent cette synchronisation (ou séquence de déclenchement des fibres), ainsi que les conditions dans lesquelles se fait la diffusion des réponses vers l'électrode d'enregistrement, seront revus dans le détail au moment de l'interprétation des résultats (§ 31, page 122).

Cette réponse au clic de large spectre ne donne qu'une information globale sur le fonctionnement du récepteur dans laquelle il sera plus difficile de trouver des indications précises sur la sensibilité en fréquence de la cochlée, bien que, comme on le verra dans l'analyse des résultats, cela soit partiellement possible.

On peut cependant également utiliser des stimulations sonores qui, tout en étant les plus brèves possible, correspondent à des bandes de fréquence limitées, dans les domaines des fréquences graves, moyennes et aiguës. Certes, il y a incompatibilité entre la réalisation de stimulations basse fréquence et l'obtention d'une réponse nette du nerf auditif puisque le stimulus étant alors nécessairement lent, la réponse sera également lente et de faible amplitude. Cependant cette réponse existe si on admet,ce qui est valable pour un organe périphérique essentiellement transducteur,que pour deux stimulations absolument identiques, le déclenchement et la synchronisation des fibres se feront de la même manière. Après sommation d'un nombre suffisant de réponses dans le moyenneur, une réponse moyenne nette devrait apparaître.

124.— Mise en évidence de la réponse

En dehors des techniques de filtrage (qui modifient la forme de la réponse) et de superposition graphique (Fig. 10), la technique moderne des "moyennes" s'avère pour notre problème extrêmement satisfaisante. La sommation, dans des mémoires, des réponses successives à une série de stimulations identiques répétitives permet d'améliorer le rapport signal sur bruit en fonction du nombre N de "passages". En effet, on démontre que, lors de la sommation, le signal augmentant comme N, le bruit, s'il est aléatoire, n'augmente statistiquement que comme $\sqrt{N}$ (Fig. 11 et 12) ($S/B = \sqrt{N}$).

Ce principe s'applique parfaitement dans notre cas car le bruit de fond, essentiellement thermique (résistance des électrodes, bruit dans les amplificateurs) est vraiment aléatoire, sans aucune relation avec le signal. En effet, les autres signaux parasites d'origine bio-électrique, tel surtout l'électro-encéphalogramme, sont dans un domaine de fréquence (quelques Hertz) tout à fait en dehors

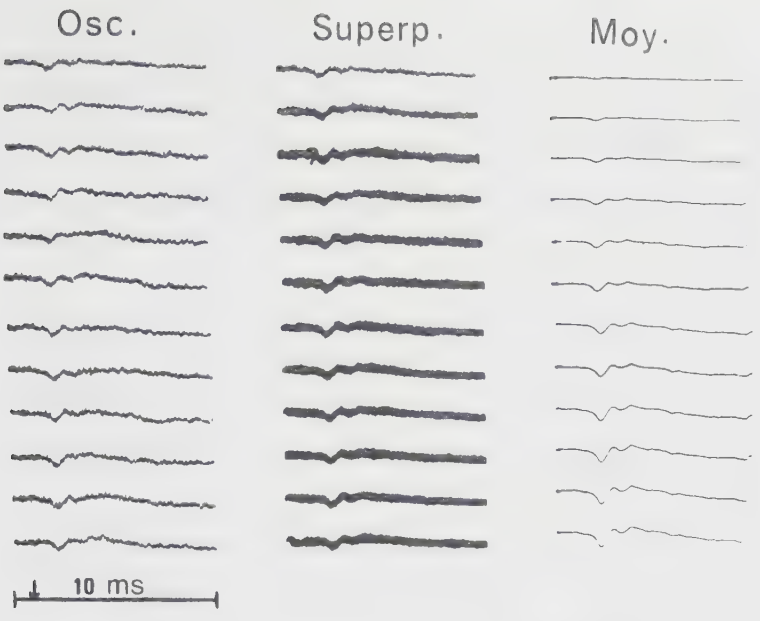


FIG. 10 - Comparaison de la superposition graphique et de la moyenne
à gauche : réponses successives nettement visibles directement sur l'oscilloscope (amplitude de l'ordre de 40 µV) ;
au centre : effet de la superposition graphique sur enregistrement photographique ;
à droite : élaboration de la réponse moyenne dans la mémoire du petit moyenneur
(enregistrement au niveau du promontoire)

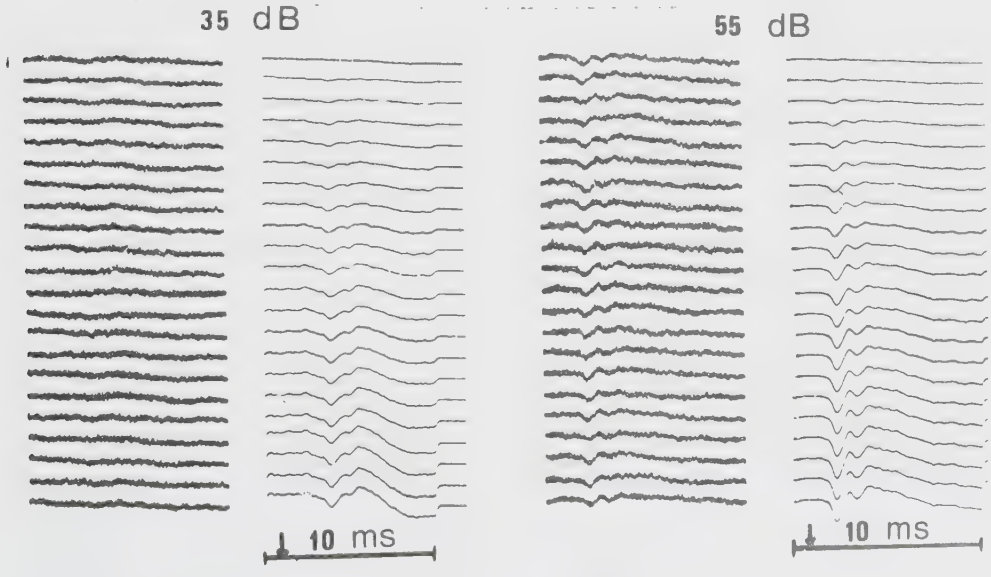


FIG. 11 - Comparaison des réponses successives et de l'élaboration de la moyenne pour deux intensités de stimulation. A 35 dB, la réponse est indiscernable directement mais la moyenne est très nette.
(enregistrement au niveau du promontoire).

de celui de la réponse que nous recherchons (quelques KHz), la "fenêtre" - ou durée du signal considéré - étant de 10 msec. Seuls occasionnellement quelques signaux plus rapides, myogènes vraisemblablement, peuvent éventuellement gêner l'extraction de la réponse, mais ces cas sont extrêmement rares.

On voit que le problème est tout à fait différent de celui des potentiels évoqués où la réponse à extraire est superposée à un signal qui a les mêmes caractéristiques temporo-spatiales : l'activité de base électro-encéphalographique.

125.– Elimination du microphonique

Non seulement nous ne nous intéressons pas à la réponse microphonique, mais encore nous voulons l'éliminer, car celle-ci, qui s'enregistre normalement en même temps que la réponse nerveuse, modifie la forme de cette dernière (Fig. 12). Pour cela, le filtrage ne convenant pas, puisque le microphonique couvre toute la gamme des fréquences audibles, nous utilisons les propriétés particulières de ces deux réponses, qui permettent d'ailleurs de les différencier. Lorsque l'on inverse la phase de la vibration sonore, le microphonique (cochléaire ou autre) s'inverse de la même manière alors que le potentiel d'action global garde la même polarité, essentiellement négative. Celui-ci est en effet élaboré à partir des réponses unitaires de forme standard. L'inversion de la phase du stimulus ne fait que modifier l'instant de déclenchement des fibres. Or, si le stimulus est assez rapide par rapport à la durée de l'impulsion unitaire (de l'ordre de 1 ms.), cette modification est minime (PEAKE et KIANG, 1962). Utilisant alors un train d'impulsions alternativement positives et négatives, les composantes microphoniques s'inversant comme la stimulation, s'annulent lors de la sommation des réponses dans le moyenneur, alors que les réponses nerveuses s'additionnent. Ce faisant on obtient une réponse nerveuse entièrement débarrassée de microphonique (Fig. 13).

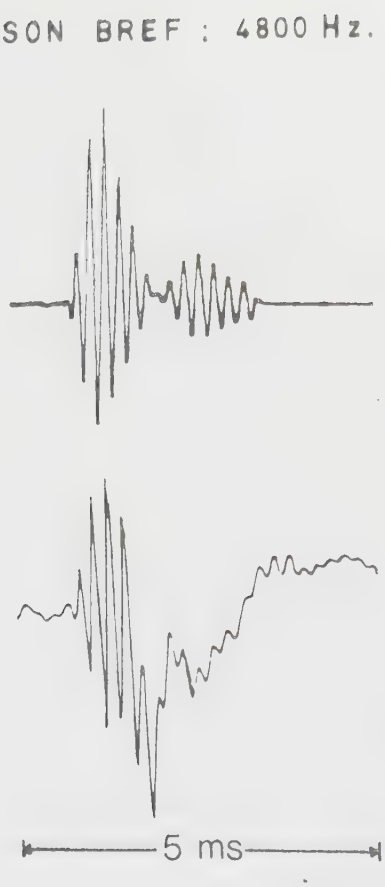


FIG. 12 - Réponse au clic filtré 4800 Hz, enregistrée au niveau de la fenêtre ronde chez le cobaye :
- en haut : stimulation sonore enregistrée par un microphone placé dans les mêmes conditions
- en bas : réponse constituée de la réponse microphonique et de la réponse nerveuse mélangées.

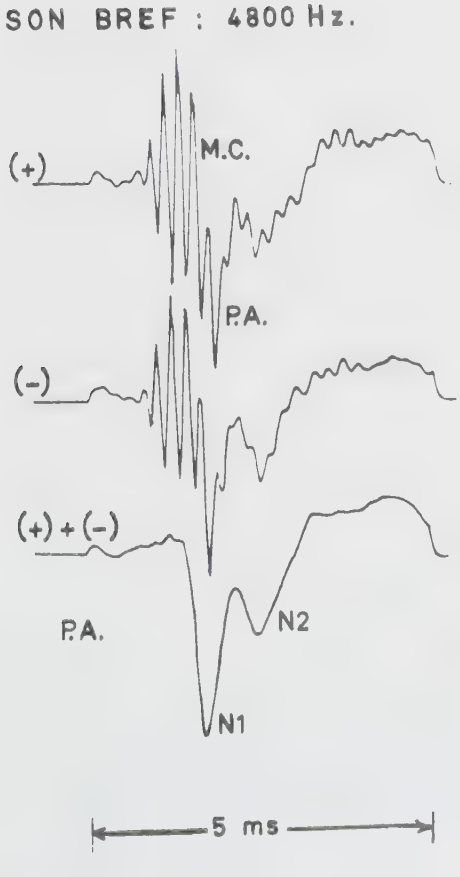


FIG 13 - Réponses identiques à celle de la figure 12, mais à deux stimulations de phases opposées (+) et (-) ; en dessous : somme des deux réponses (+)+(-), montrant l'élimination du microphonique au profit de la seule réponse nerveuse.
N1, N2 : pics successifs de la réponse nerveuse.

126.— Nature exacte de la réponse

Si le microphonique s'annule complètement, il n'en est pas de même de l'autre réponse sensorielle : le potentiel de sommation. Celui-ci, que l'on peut considérer comme représentant l'enveloppe du son, ne s'inverse pas quand on inverse la stimulation. Il est donc présent dans la réponse moyenne. Cependant, dans la grande majorité des cas l'importance de la réponse nerveuse dans le signal enregistré est telle que l'on peut considérer celui-ci comme uniquement constitué du potentiel d'action du nerf. Par contre, dans certains cas très rares mais qui correspondent comme on verra à une pathologie très précise (§26, p. 94) il est difficile de reconnaître dans la réponse enregistrée la réponse nerveuse, alors qu'un élément précoce, positif, est très nettement apparent. Alors, il s'agit d'une réponse qui comporte une composante sensorielle (sa latence étant pratiquement nulle) ; comme celle-ci peut aussi bien être du potentiel de sommation qu'un résidu de microphonique qui ne s'éliminerait pas à cause d'une assymétrie dans cette réponse, nous préférons utiliser le terme plus général de réponse sensorielle (le microphonique et le potentiel de sommation ayant par ailleurs la même source : les cellules sensorielles de l'organe de Corti).

La réponse nerveuse est quant à elle une réponse moyenne à deux stimulations différentes (puisque de phases opposées).

Compte tenu de ces différentes considérations on peut donc définir la réponse électro-cochléographique comme "le signal électrique moyen qui apparaît au niveau de la cochlée et du nerf auditif, dans les 10 ms. suivant la stimulation, lors de stimulations sonores très brèves (transitoires) de phases alternativement opposées".

13.— MATERIEL

Le matériel décrit est un matériel de recherche que nous avons utilisé pour la mise au point de la méthode et avec lequel tous les enregistrements présentés dans ce travail ont été obtenus. Les examens qui sont maintenant réalisés en routine dans le Service

d'Audiologie de l'hôpital utilisent un matériel simplifié, automatisé et mieux adapté au travail clinique, qui a été conçu d'après nos travaux.

L'examen se déroule dans un ensemble insonorisé comportant cabine et pré-cabine. La cabine est faradisée.Elle est équipée d'un lit d'examen, d'un microscope opératoire, d'un aspirateur et du matériel d'anesthésie et de réanimation (oxygène) (Fig. 14). Toutes les masses métalliques sont reliées au blindage et à la terre. Dans la pré-cabine sont placés tous les appareils de stimulation et d'enregistrement (Fig. 15), à l'exclusion du haut-parleur et du préamplificateur qui sont placés près du lit d'examen dans la cabine. L'ensemble de l'appareillage est schématisé sur la figure (Fig. 16).

131.– Electrodes

On utilise un système à trois électrodes : électrode active sur le promontoire, électrode indifférente collée sur le lobe de l'oreille et masse collée sur le front du sujet. Comme souvent en électrophysiologie, on utilise un amplificateur différentiel à deux entrées.

Electrode active : elle doit être fine, longue et rigide car elle doit traverser le tympan pour être appuyée sur le promontoire, l'autre extrémité devant dépasser du spéculum. Elle est réalisée à partir d'une fine aiguille en acier inoxydable de 5 cm de long et de diamètre, dans sa partie la plus fine (avant affûtage), de 0,2mm. (Fig. 17) (Sondes lisses XX fin, longues, sans manche de Micromega). La pointe est affûtée par électrolyse dans l'acide (Fig. 18) ; en effet, il est nécessaire d'avoir une pointe très aiguë pour traverser le tympan sans l'enfoncer globalement et pour que l'électrode ne glisse pas sur le promontoire, enfin pour que la perforation réalisée dans le tympan par le passage de l'électrode soit minime. L'aiguille est vernie depuis la pointe jusqu'à 1 cm de l'extrémité renflée à laquelle sera relié un fil de connection par l'intermédiaire d'un porte électrode. Deux couches de vernis (Epoxylite) sont appliquées par trempage. Celui-ci est cuit chaque fois à 180°C pendant 1/2 heure. La pointe est ensuite dévernie sur 1/2 mm (Fig. 18) Pour cela le courant

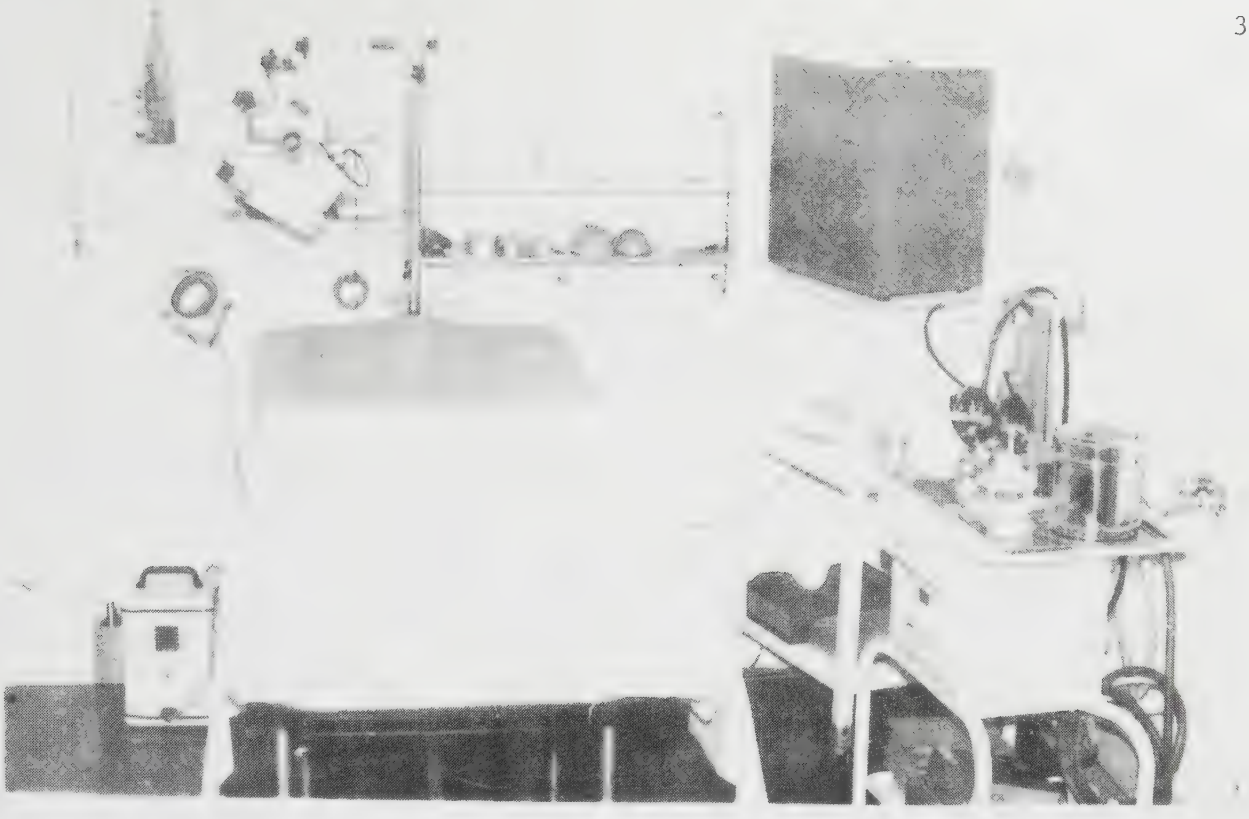


FIG. 14 - Vue de la cabine avec le matériel de stimulation et d'anesthésie.

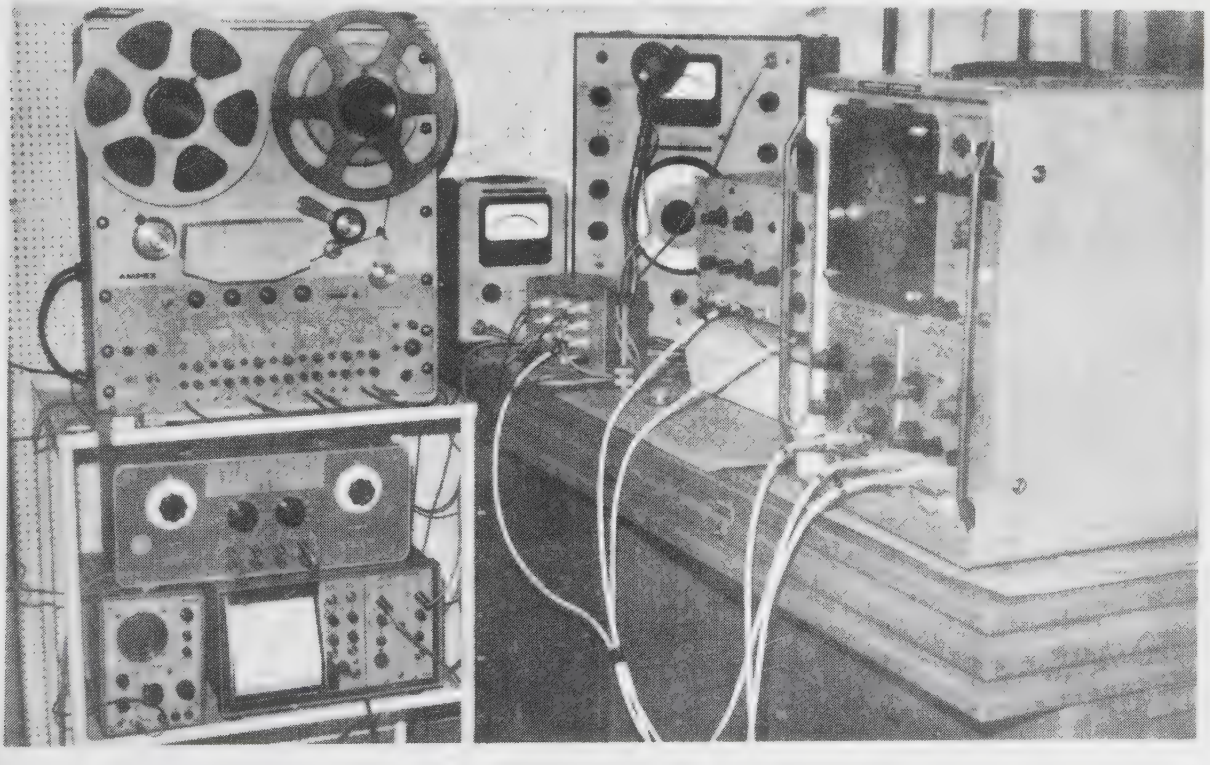


FIG. 15 - Vue de la pré-cabine avec l'ensemble de l'appareillage.

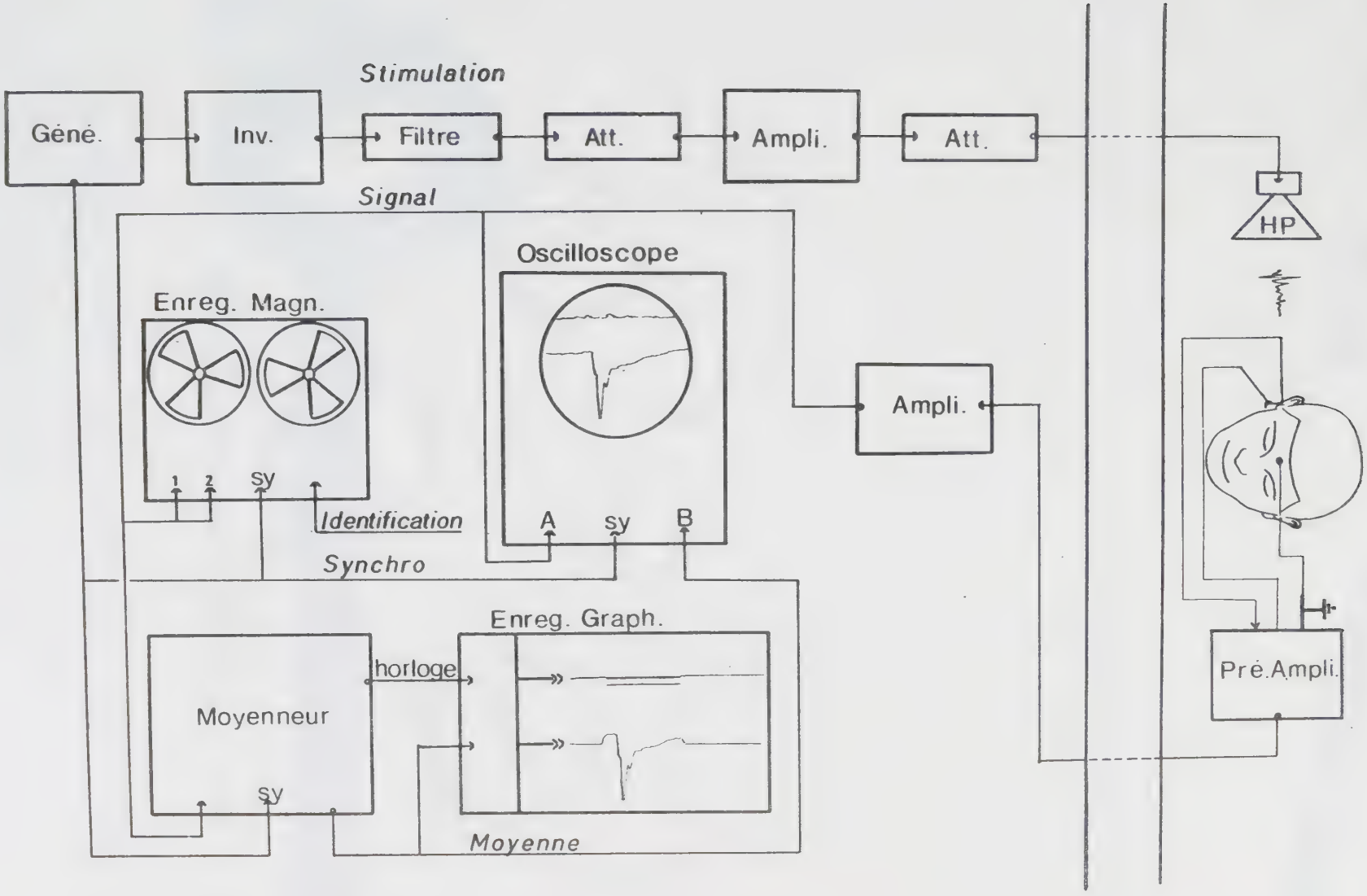


FIG. 16 - Schéma de l'appareillage.

FIG. 17 - Vue de l'électrode et du porte-électrode.

FIG. 18 - Vue grossie de l'électrode vernie sauf à la pointe. (Diamètre de l'électrode : 0,2 mm).

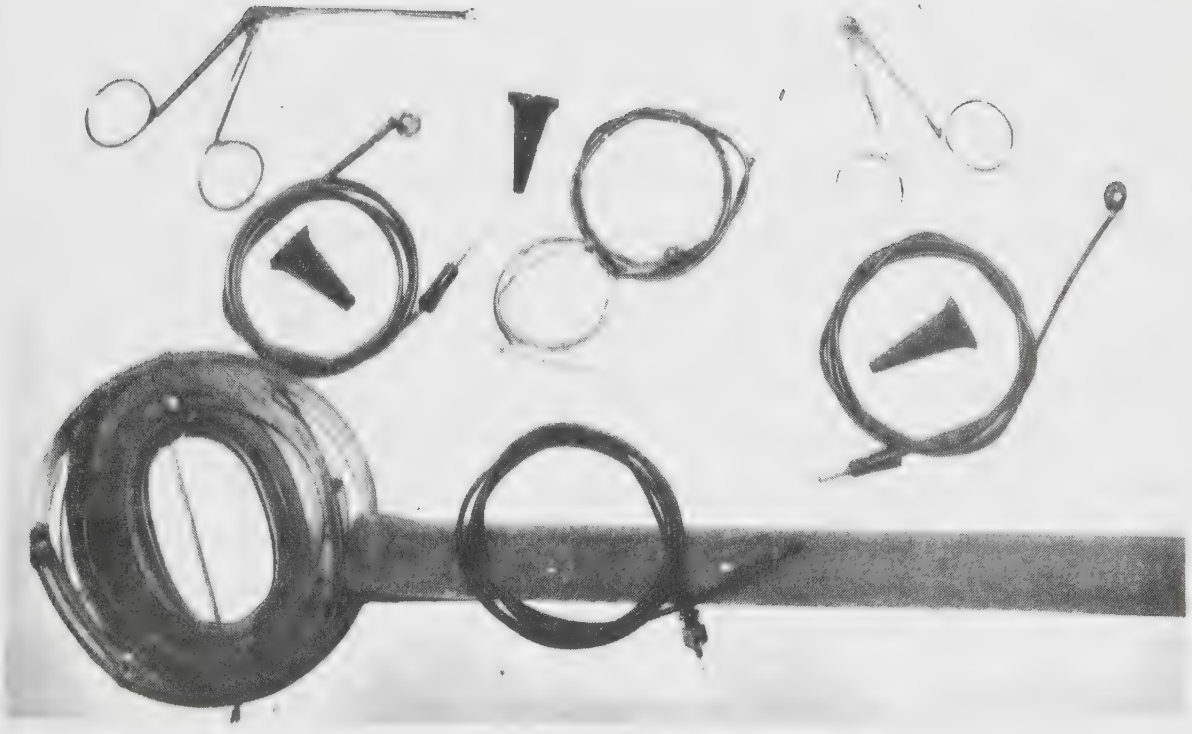


FIG. 19 - Ensemble du petit matériel pour la mise en place des électrodes.

d'un électrocoagulateur est envoyé dans l'électrode plongée dans le même bain d'acide, l'étincelle brûle le vernis à la pointe tout en émoussant légèrement celle-ci. L'électrode est ensuite replacée dans le four pendant une heure, puis directement conservée dans une boîte avec du formol jusqu'à son utilisation. Elle est ainsi gardée stérile. Les électrodes sont fabriquées en série. Pour de nombreuses raisons elles ne sont utilisées qu'une fois, leur fabrication ne demandant guère plus de temps que leur vérification et re-stérilisation.

Les électrodes indifférente et masse : ce sont des disques en Ag/AgCl utilisés en électro-encéphalographie ; une pâte électrolytique est introduite par leur trou central entre celles-ci et la peau pour assurer un bon contact électrique.

132. - Accessoires

Divers détails pratiques ont nécessité la confection de différents éléments qui facilitent la mise en place et le maintien de l'électrode. Ce sont :

— un porte-électrode constitué d'un tube en acier inoxydable dans lequel l'électrode est introduite en force ; l'autre extrémité est pourvue d'une gorge (Fig. 17).

— un anneau de fixation, en plastique, de 10 cm de diamètre, fixé sur un coussin, que l'on maintient autour de l'oreille au moyen d'une sangle serrée autour de la tête. En travers de l'anneau est tendu un fil élastique qui sera introduit dans la gorge du porte-électrode et exercera ainsi une légère pression sur l'électrode, la maintenant constamment appuyée contre le promontoire (Fig. 19).

133. - Stimulations (Fig. 16)

Le système de stimulation comprend :

— un générateur de signaux rectangulaires (RACIA SGL 60) dont le rythme, la largeur et l'amplitude sont réglables. Le rythme choisi est de 10/sec. Ce rythme est suffisamment rapide pour permettre la sommation d'un grand nombre de réponses en un temps assez

court et suffisamment lent pour que toutes les fibres du nerf auditif aient le temps de récupérer après chaque stimulation et avant la suivante. L'amplitude de la réponse globale au rythme de 10/sec est très voisine de celle obtenue au rythme de 1/sec ; par contre pour des rythmes plus rapides que 10/sec, l'amplitude diminue (adaptation).

— un étage inverseur (RACIA) qui permet, à partir du train d'impulsions positives issues du générateur, d'obtenir en sortie les mêmes impulsions mais alternativement positives et négatives.

— un filtre passe-bande passif (ALLISON 2 AB) pour la réalisation de transitoires limités en fréquence.

— une boîte d'atténuation (SECRE) de 111 dB (10x10 dB, 10x1 dB, 10x0,1 dB) d'impédance 600 ohms.

— un amplificateur basse-fréquence ultra-linéaire de 40 watts (FILM-&-RADIO).

— un atténuateur 15 ohms (TECH-LABORATORIES) (30 dB, 15x2 dB) en sortie de l'amplificateur et destiné à atténuer simultanément le signal et le bruit de fond dû à l' amplificateur dans le haut-parleur, qui pourrait masquer le clic aux faibles niveaux.

— un haut-parleur (ALTEC-LANSING 604E, 40 W.) placé dans un bafle blindé par un grillage métallique afin d'éviter en partie une influence électrique directe du signal dans le haut-parleur sur les électrodes.

Le clic est produit par l'impulsion rectangulaire de 0,1 ms de durée, non filtrée. Les stimulations sonores brèves mais au domaine de fréquences limité sont réalisées au moyen d'une impulsion rectangulaire filtrée dans le filtre passif passe-bande.

Cette technique présente l'avantage d'être très simple et de fournir un rapport "on-off" excellent, ce qui n'est pas le cas avec les portes électroniques découpant un son pur (il nous faut en effet une dynamique de 110 dB). Nous avons d'abord utilisé les clics filtrés représentés avec le clic sur la Figure 20, puis dans un but de standardisation et d'homogénéité nous avons adopté les recommandations de DAVIS (1970) pour les fréquences audiométriques standard :

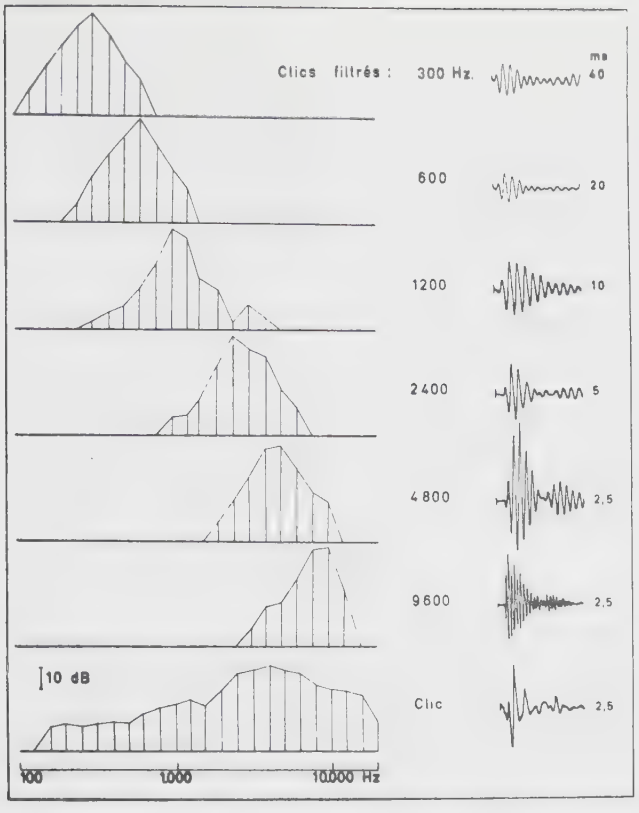


FIG 20. Formes et spectres du clic et des clics filtrés utilisés dans nos premiers enregistrements.

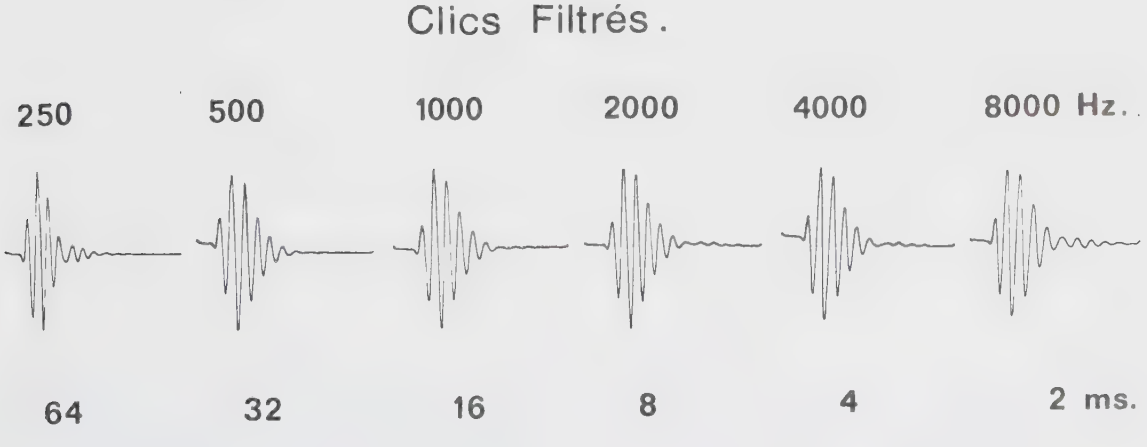


FIG 21 - Formes des clics filtrés réalisés conformément aux spécifications de DAVIS (1970) et utilisés par la suite.

250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz (Fig. 21). Celles-ci sont les suivantes : pour chaque filtre, l'impulsion rectangulaire a une largeur (durée) égale à la demi-période correspondant à la fréquence centrale du filtre. La largeur de la bande passante du filtre est de $\pm$ 10% autour de Fo fréquence centrale du filtre. L'atténuation en dehors de cette bande est de 30 dB/octave. Ainsi pour réaliser un clic filtré sur la fréquence 4000 Hz, il faut une impulsion de largeur : 1/2Fo = 1/8000 = 125 µsec. et un filtre passe-bande de largeur 3600 à 4400 Hz. Si ces spécifications sont respectées pour chaque fréquence, on obtient des signaux absolument comparables entre eux, à l'échelle du temps près (Fig. 21).

La spécificité tonale des différents clics filtrés a été vérifiée, en particulier chez le cobaye où l'effet de masque n'était démontrable, sur les réponses nerveuses aux différents clics filtrés, qu'avec un bruit blanc ou une bande de bruit centrée sur la même fréquence que celle de la stimulation (voir IIème Partie, § 124, page 177).

Les niveaux sonores de ces stimulations sont mesurés respectivement en dB par rapport aux niveaux correspondants aux seuils moyens d'audition de chacun de ces sons ou pardes sujets normaux placés latéralement à 70 cm du haut-parleur comme lors des enregistrements. Leur valeur physique est également mesurée par un microphone BRUEL-&-KJAER placé de la même manière. Ainsi le clic au seuil moyen normal d'audition (0 dB) correspond à un pic de pression sonore 25 dB au-dessus de 0,0002 dynes/cm^2 (dB peak equivalent Sound Pressure Level). Les valeurs correspondantes au 0 dB d'audition des différents clics filtrés sont représentées dans le tableau ci-après :

CLICS FILTRES							
CLIC	9600	4800	2400	1200	600	300	Hz
25	42	27	25	27	22,5	25	dB p.e. S.P.L.

134. - Amplification

Les signaux recueillis par les électrodes sont amplifiés dans un pré-amplificateur PRINCETON APPLIED RESEARCH, mod. CR 4, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- haute impédance d'entrée (50 MΩ),
- faible bruit de fond,
- alimentation sur accumulateurs rechargeables,
- filtres passe-haut et passe-bas qui permettent de choisir la bande passante du signal. Nous avons choisi, pour l'amplification, une bande passante allant de 3 Hz à 30 kHz, car nous enregistrons sur enregistreur magnétique (AMPEX SP 300) en mode direct (40 Hz - 40 kHz) pour disposer éventuellement du microphonique et en mode FM (0 Hz - 2 kHz) bande passante qui est suffisante pour enregistrer la seule réponse nerveuse sans déformation. Le gain de l'amplificateur est choisi à 1000. La sortie de l'amplificateur est reliée aux autres appareils dans la pré-cabine par l'intermédiaire d'un panneau de connections. Le signal est alors amplifié encore 10 fois dans un Voltmètre Electronique BRUEL-&-KJAER (2409) (2 Hz - 200 kHz).

135. - Contrôle du signal à l'oscilloscope

Le signal ainsi amplifié 10.000 fois est observé sur l'écran d'un oscilloscope double trace (C.R.C. OC 746). Cela permet de juger de la qualité du contact des électrodes par l'intermédiaire du niveau de bruit de fond qui est de l'ordre, quand toutes les électrodes sont correctement placées, de 20 μV. Cette observation dispense de la mesure de l'impédance de l'électrode qui de toute façon est faible (de l'ordre de 20 kΩ, mesurée dans du Ringer).

136. - Moyenneur

La nécessité de sommer les réponses est apparue dès nos premiers enregistrements. Ne pouvant disposer rapidement d'un moyenneur adapté à notre problème (l'échantillonnage à la fréquence de 10 kHz qui est nécessaire étant pour l'époque - 1967 - relativement rapide), nous avons enregistré les réponses successives sur l'enregis-

treur magnétique, en même temps que l'impulsion de synchronisation et les informations permettant l'identification des enregistrements. Ces enregistrements étaient ultérieurement lus et envoyés sur différents appareils permettant la sommation,dans leurs mémoires, des réponses successives.

Cela a été :

— l'"ELATRON 1600", aimablement mis à notre disposition par l'ELECTRONIQUE APPLIQUEE (Dir. M. GRANDY) à l'usine de Gradignan (Fig. 6)

— le "MNEMOGRAPH"ALVAR, grâce à l'obligeance du Professeur J. FAURE, dans son laboratoire de Neurophysiologie.

— l'"ART 1000" SAIP, que le Professeur ROZIER a eu l'amabilité de nous prêter pendant certaines périodes (Fig. 7).

Evidemment, étant donné qu'il est presque toujours impossible de déceler la réponse sans faire de moyenne, même aux forts niveaux et pour des oreilles normales, une telle procédure était très astreignante et peu pratique (en particulier il était nécessaire d'enregistrer en stimulant systématiquement depuis 0 jusqu'à 100 dB, dans l'ignorance où l'on était de la présence ou non d'une réponse). Cela nous a cependant permis d'avoir la certitude de l'efficacité de la méthode de moyennage, et cette étape a été déterminante dans la poursuite de nos travaux car d'emblée il est apparu que de tels enregistrements étaient possibles et seraient d'un intérêt considérable sur le plan du diagnostic de la surdité.

C'est alors que nous avons choisi, dans le matériel disponible à l'époque, en raison de son prix et de ses performances pour notre application, le moyenneur analogique de PRINCETON APPLIED RESEARCH "WAVEFORM EDUCTOR" TDH9.

Ce moyenneur échantillonne successivement le signal d'entrée en 100 intervalles égaux, chaque fois que le signal répétitif apparaît. Il intègre séparément les échantillons pour supprimer le bruit et conserve chaque échantillon intégré, ou "moyenné" dans sa mémoire. Celle-ci, analogique, est constituée de 100 condensateurs

commandés par 100 transistors à effet de champ. Dans la première version de l'appareil que nous avons utilisé, la charge des condensateurs se fait assymptotiquement jusqu'à la valeur moyenne vraie de chaque échantillon, si bien que le signal en sortie, fait de la succession des 100 points, tend assymptotiquement vers la moyenne effective du signal d'entrée. Si une telle configuration est pratique pour l'extraction du signal du bruit, elle impose un nombre de passages déterminé pour la mesure de l'amplitude réelle du signal. Ce nombre dépend du rythme de répétition choisi, de la fréquence d'échantillonnage, des résistances d'entrée des condensateurs, qui constituent la constante de temps caractéristique de l'appareil et qui peuvent être choisies dans différentes gammes. Pour notre utilisation ayant choisi, avec un rythme de répétition de 10/sec, une "fenêtre" de 10 ms, la fréquence d'échantillonnage est automatiquement de 10 kHz. La constante de temps caractéristique est de 5 sec. Il fallait alors effectuer 900 sommations (1,5 mn) pour avoir un signal en sortie dont l'amplitude représentait alors 90 % de l'amplitude vraie de la réponse moyenne. Dans la seconde version "linéarisée", la tension aux bornes de chaque condensateur est directement proportionnelle au nombre de passages et augmente donc linéairement en fonction de ce nombre. Les mesures d'amplitude sont alors plus simples :

Si A est l'amplitude, en volts, du signal à la sortie du moyenneur, telle qu'on la mesure par exemple sur l'oscilloscope,
G est le gain total des amplificateurs,
CTC est la constante de temps caractéristique de l'appareil,
T est la durée d'analyse ou fenêtre, exprimée en secondes,
N est le nombre de stimulations utilisées,

a sera alors l'amplitude réelle de la réponse, exprimée en volts, telle que :

$$a = \frac{A}{G} \times \frac{CTC}{T} \times \frac{1}{N}$$

Par exemple si on a choisi :

G = 100.000

T = 0,01 sec.

CTC = 5 sec.

N = 500

et si on mesure sur l'oscilloscope A = 1 volt, cela donne :

a = 10 µV

Un compteur d'impulsions à pré-détermination permet soit de fixer le nombre de passages, les stimulations s'arrêtant automatiquement une fois ce nombre atteint, soit d'arrêter la sommation dès que la réponse est suffisamment nette ; la valeur de N est alors lue sur le compteur.

Cet appareil présente en outre les caractéristiques suivantes, intéressantes pour notre utilisation :

- lecture continue de la mémoire au cours de la moyenne, qui permet d'observer l'apparition progressive de la réponse sur l'écran de l'oscilloscope (Fig. 10 et 11).
- Lissage automatique, quelle que soit la vitesse de lecture, qui permet d'observer et d'enregistrer un signal non "découpé" et donc plus proche de la réalité et plus agréable à observer (Fig. 22).
- Filtre d'entrée, automatiquement adapté à la dimension de la fenêtre qui permet de satisfaire à l'exigence théorique qui veut que pour un moyennage efficace, le domaine de fréquence du signal d'entrée soit limité au domaine imposé par la fréquence d'échantillonnage (selon la théorie F/2), soit, pour une fenêtre de 10 msec., en 100 points : 5 kHz.
- Possibilité d'enregistrer directement la réponse moyenne sur un enregistreur graphique (X, t ou X, Y) grâce aux vitesses de lecture que l'on peut choisir entre 100 µsec et 100 secondes.
- Vitesse d'échantillonnage allant de 1 µsec/point à 1 sec/point. Cette large gamme permet d'utiliser l'appareil (avec certes les

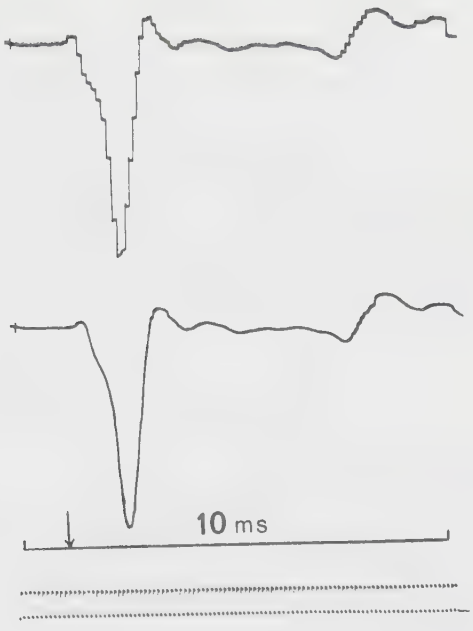


FIG. 22 - Réponse mémorisée dans le moyenneur lue point par point (en haut) et lissée (en bas).

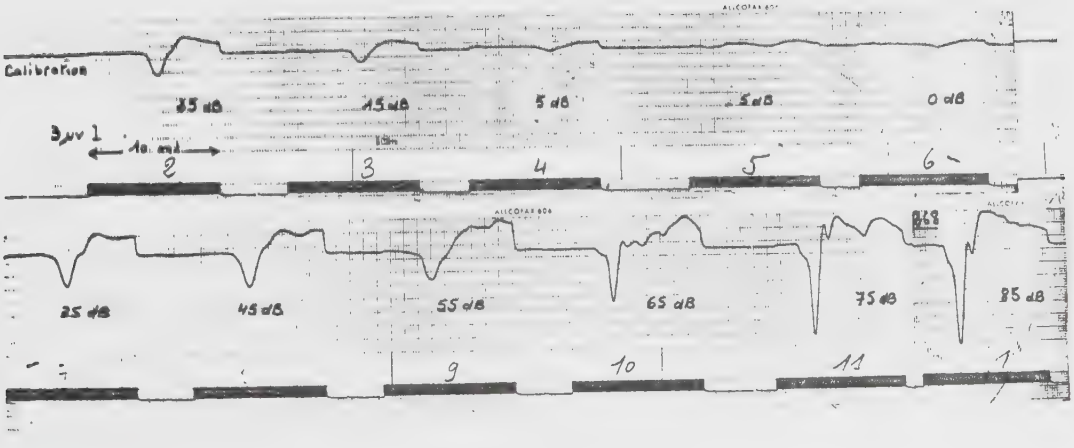


FIG. 23 - Exemple d'enregistrements à toutes les intensités du clic (amplification constante) tels qu'on les réalise au cours d'un examen.

limitations imposées par le nombre de points - 100 -) pour l'observation aussi bien des phénomènes rapides (comme le microphonique cochléaire haute fréquence) que des phénomènes très lents, tels les potentiels évoqués et même les potentiels lents soutenus. C'est en particulier avec cet appareil que DAVIS (1964) a développé la méthode d'observation des potentiels évoqués auditifs, appliquée à l'audiométrie objective.

137.- Observation et enregistrement de la moyenne

La sortie du moyenneur est donc observée en permanence sur la deuxième trace de l'oscilloscope. On peut ainsi surveiller au fur et à mesure l'apparition de la réponse moyenne au cours de la sommation, en même temps que l'on contrôle, sur l'autre trace, le signal à l'entrée. A la fin de la sommation, on enregistre, à vitesse lente (en 10 secondes) sur enregistreur graphique rectiligne TELCO ED26 la réponse moyenne (Fig. 23).

138.- Synchronisation

Une impulsion de synchronisation issue du générateur d'impulsions est envoyée dans les entrées synchro du moyenneur (déclenchement du début d'analyse) et de l'oscilloscope (déclenchement du balaye).

Souvent nous avons simultanément enregistré les réponses avant moyenne sur l'enregistreur magnétique afin de pouvoir ultérieurement effectuer de nouvelles moyennes avec, en particulier, des fenêtres de durées différentes. Dans ce cas l'impulsion de synchronisation est également enregistrée sur une autre piste.

139.- Délai

Afin d'utiliser au mieux les 100 points de mémoire, le début d'analyse est déclenché juste avant le début de la réponse. Or il y a un délai entre l'impulsion et la réponse qui comporte deux éléments :

— d'une part, le délai entre la stimulation acoustique au niveau du tympan et la réponse nerveuse (ou délai entre la réponse microphonique et la réponse nerveuse), c'est la latence du potentiel d'action (voir Fig. 27, page 51).

— d'autre part, le délai entre l'impulsion dans le haut-parleur et l'arrivée du clic au tympan, dû au temps de propagation de l'onde sonore. Le haut-parleur étant placé à 70 cm de l'oreille et la vitesse de propagation du son étant de 340 m/sec, cela fait un délai de 2 msec (évidemment lorsque, au lieu du haut-parleur, on utilise un écouteur placé sur l'oreille, ce délai devient négligeable). Pour faire commencer l'analyse juste avant le début du microphonique, on rajoute, grâce à un réglage sur le moyenneur, un délai de 1 msec. Ainsi la fenêtre commence 1 msec avant l'arrivée du clic au tympan.

14.— PROTOCOLE

141.- Mise en place des électrodes

Le sujet est allongé sur le lit d'examen, la tête légèrement surélevée. Un médecin assistant du Service O.R.L. procède à la mise en place des électrodes.

Anesthésie locale.—

Après nettoyage et examen du conduit auditif externe dont on note les modifications éventuelles, on réalise l'anesthésie locale du tympan, soit par un gel de xylocaïne laissé en contact pendant 10 minutes, soit par un "Spray" de xylocaïne, soit par toute autre technique dont l'opérateur a l'habitude, sans recourir aux infiltrations d'anesthésique.

Mise en place des électrodes indifférente et masse.—

Après nettoyage de la peau à l'éther, les électrodes sont collées soit par du collodion, soit par des disques, adhésifs sur leurs deux faces (Specialized Laboratory Equipment), puis la

peau est légèrement grattée à travers le trou de l'électrode et la pâte électrolytique introduite au moyen d'une seringue. La fixation des électrodes est renforcée par une bande adhésive.

Mise en place de l'électrode active.—

L'anneau de fixation est d'abord fixé autour de l'oreille. Un spéculum est mis en place et fixé à l'anneau par de l'adhésif. Puis l'électrode, introduite dans le porte électrode, est descendue soit à la main, soit tenue par une pince coudée, sous contrôle binoculaire (Fig. 25), vers le tympan qui est alors transpercé à mi-distance d'un segment joignant l'ombilic à un point situé sur le sulcus à 8 h (sur une oreille droite) (Fig. 24). L'électrode est fichée sur le promontoire, le fil élastique est placé par un assistant (Fig. 26) dans la gorge du porte-électrode et maintient l'électrode continuellement appuyée sur le promontoire. Le fil du porte-électrode est alors fixé à l'anneau puis relié à l'amplificateur, de même que les fils provenant des deux autres électrodes. L'ensemble électrodes et accessoires n'étant solidaire que de la tête du sujet, celui-ci peut la déplacer dans la limite de la longueur des cables de connection, sans déranger l'installation (Fig. 26).

142.— Protocole d'enregistrement

Le haut-parleur est placé à 70 cm de l'oreille, le secteur débranché dans la cabine, le pré-amplificateur allumé. On observe le signal sur l'oscilloscope, son aspect permet de juger du niveau de bruit de fond et donc de la qualité du contact des électrodes.

On recherche une réponse nette au clic non filtré à une intensité donc nettement supra-liminaire. Puis on enregistre à chaque niveau en diminiuant l'intensité de 10 en 10 dB jusqu'à ce que l'on n'observe plus de réponse. On enregistre ensuite pour les fortes intensités, toujours de 10 en 10 dB jusqu'à 80 ou 100 dB, suivant les seuils trouvés. Dans certains cas où la variation de l'amplitude avec l'intensité du clic était très rapide, on a enregistré en stimulant à des intensités croissantes de 5 en 5 dB, voire de 2,5 en 2,5 dB. Enfin souvent on a déterminé le seuil pour le clic filtré

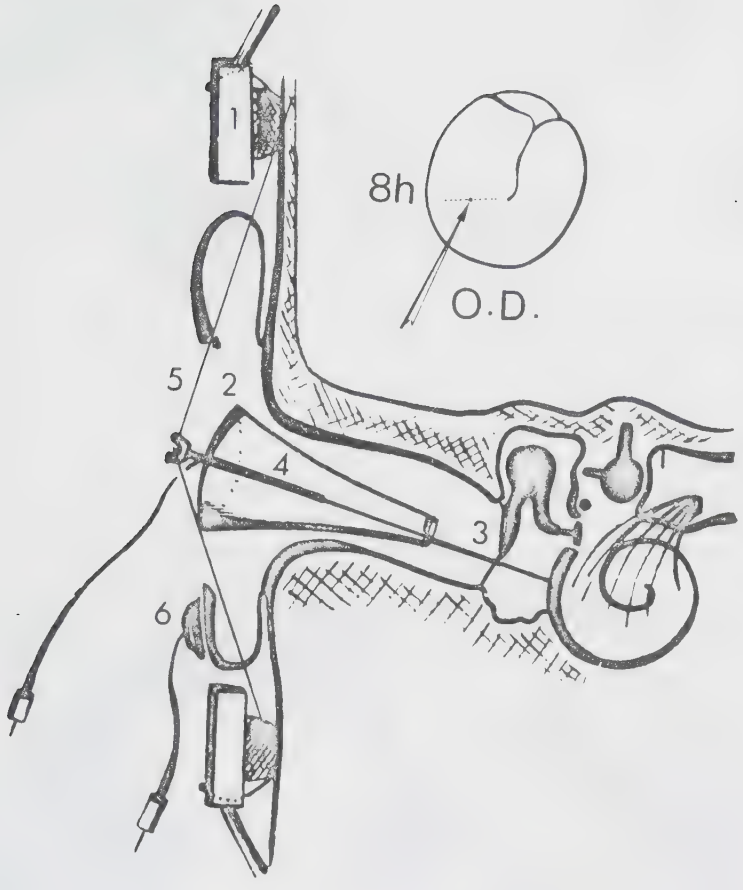


FIG. 24 - Schéma de l'oreille (en coupe) équipée des électrodes active et indifférente.

1 - Anneau de fixation
2 - Spéculum
3 - Electrode active
4 - Porte-électrode
5 - Fil élastique
6 - Electrode indifférente

L'endroit où le tympan est traversé est indiqué pour une oreille droite.

FIG. 25 - Mise en place de l'électrode active. Un assistant écarte le fil élastique pendant que l'opérateur descend l'électrode, placée dans le porte-électrode, vers le tympan sous contrôle binauculaire.

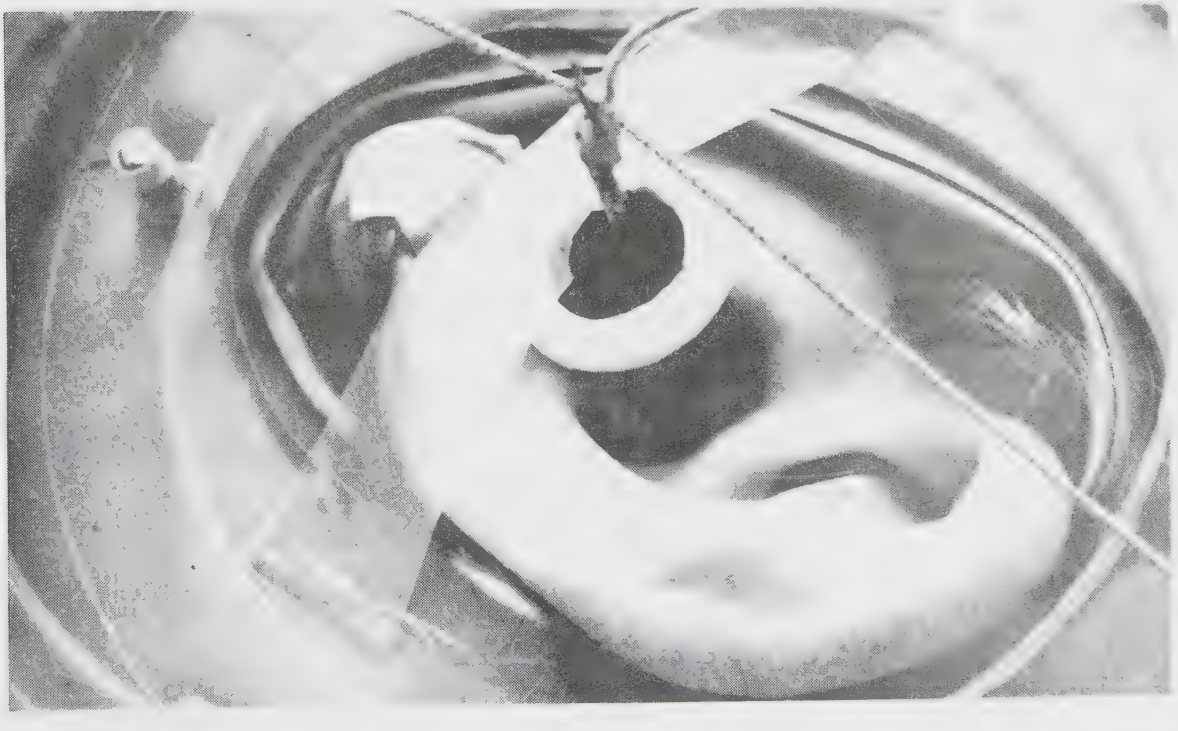


FIG. 26 - Vue de l'oreille équipée des électrodes.

aigu (9600 ou 8000 Hz), enregistré la réponse pour ces stimulations à 80 dB ou 100 dB (pour avoir un échantillon de la forme de la réponse à cette stimulation), et dans certains cas on a également utilisé les autres clics filtrés, soit pour déterminer les seuils, soit pour observer les formes des réponses.

143.— Conditions particulières chez l'enfant

Chez l'enfant autour de 8 ans :

Certaines dispositions particulières permettent de procéder à l'examen sans difficulté en assurant si ce n'est la coopération de l'enfant, du moins sa confiance et sa patience évidemment dans le cas où son niveau psychique le permet. Le test se déroule alors de la même manière que chez l'adulte, c'est à dire sous simple anesthésie locale du tympan et, pour distraire l'enfant pendant la durée de l'examen qui, sans être douloureux, est très "monotone" (clics au rythme de 10/sec pendant de nombreuses minutes), on projette, à travers la fenêtre de la cabine, de courts dessins animés. L'expérience nous a montré que c'était là un moyen extraordinairement efficace pour distraire l'enfant qui est ainsi capable la plupart du temps de rester plus d'une heure dans la cabine sans manifester d'impatience (ARAN et al., 1969).

Ainsi chez de nombreux enfants nous avons pu procéder à l'examen des deux oreilles en des jours différents. Le fait que l'enfant accepte de revenir sans appréhension pour que la seconde oreille soit examinée prouve que l'ensemble du test, s'il est convenablement présenté et effectué, ne présente pour celui-ci aucun caractère douloureux ou dramatique.

Chez le jeune enfant et le nourrisson : Anesthésie générale :

Chez le très jeune enfant et le nourrisson, la perforation du tympan, le calme et l'immobilité indispensables, rendent nécessaire le recours à l'anesthésie générale. Celle-ci fut confiée

au Service d'Anesthésie et de Réanimation de l'Hôpital Saint André (Dr. Pr. SABATIER) et mise au point par le Docteur J. LENOIR. Sans la décrire ici (voir LENOIR , 1973 ; ARAN et al., 1971) mentionnons que l'anesthésique utilisé est la KETAMINE, qui produit une dissociation analgo-gnosique sous corticale se traduisant par une narcose avec analgésie. Son effet sur les réponses enregistrées semble nul, ainsi que l'on a pu le constater lors d'enregistrements effectués chez le même enfant sous anesthésie générale puis sous anesthésie locale (voir exemple n° 148, page 97).

144.— Après l'examen

Ayant procédé à l'ensemble des enregistrements l'électrode est retirée et un coton imbibé d'antibiotique est mis en place dans le conduit, le sujet le gardera pendant 24 heures. Souvent chez l'adulte et chez l'enfant anesthésié, les deux oreilles sont examinées successivement. Il n'a jusqu'à présent été constaté aucun incident, la cicatrisation de la petite perforation due au passage de l'électrode est toujours très rapide.

145.— Mesures

Sur les réponses enregistrées à tous les niveaux depuis le seuil jusqu'au maximum, on mesure les deux caractéristiques de la réponse nerveuse : l'amplitude (nous avons choisi de mesurer celle-ci crête-à-crête) et la latence, c'est-à-dire le délai entre l'arrivée du clic à l'oreille et le pic négatif du potentiel d'action (Fig. 27). Ces deux grandeurs sont reportées sur un même graphique gradué en abscisse en dB (intensité du clic). La latence est exprimée en ms (axe vertical droit). L'amplitude n'est pas directement exprimée en micro-volts, mais en % de l'amplitude maximale atteinte au cours des enregistrements, quelle que soit l'intensité du clic à laquelle on l'a obtenue (axe vertical gauche). Cela en raison du fait que l'amplitude effective de la réponse mesurée en micro-volts, si elle dépend en premier lieu du fonctionnement du nerf auditif, dépend aussi, comme on l'a vu dans le cas du microphonique, des conditions électriques dans lesquelles se

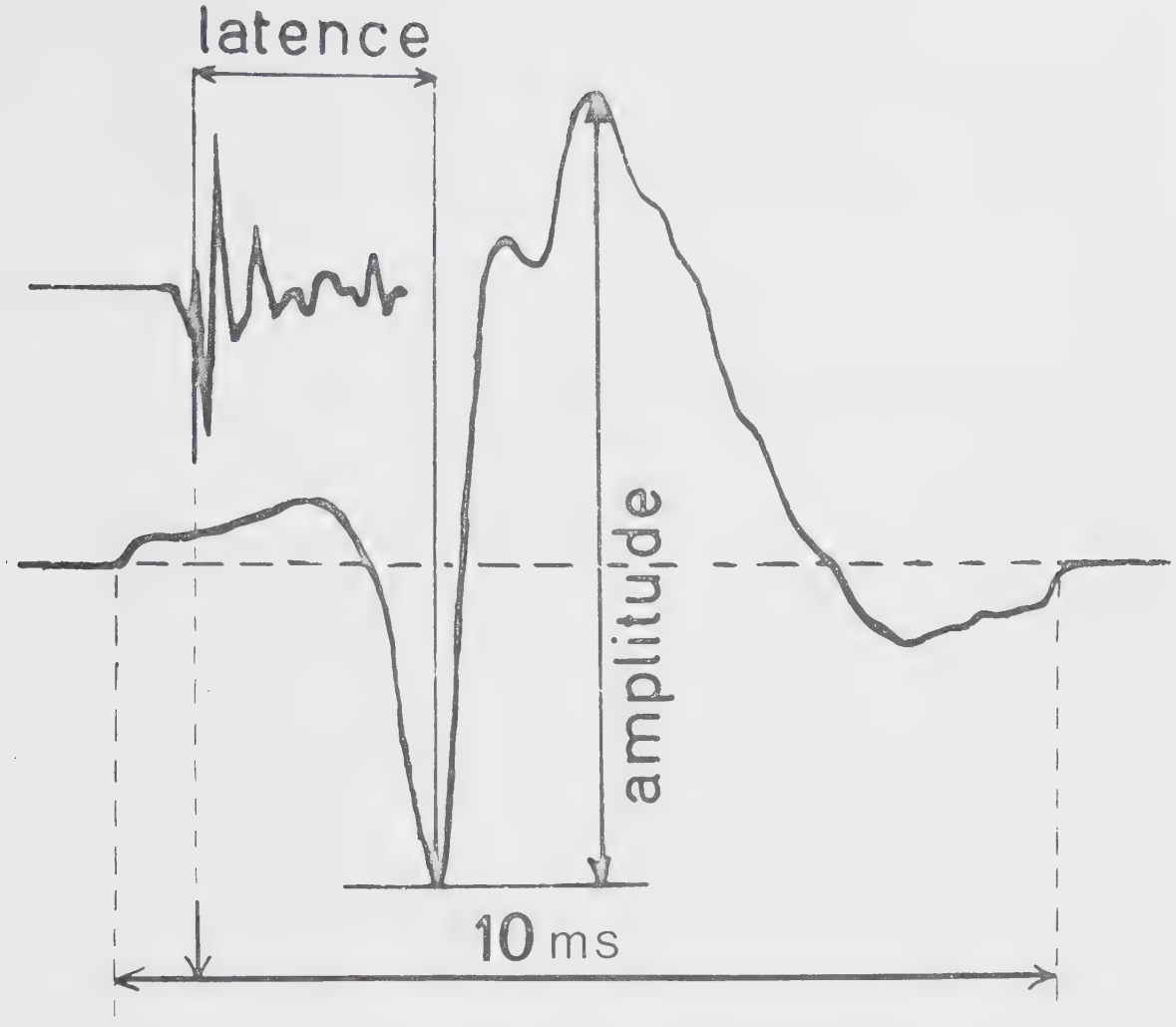


FIG. 27 - Mesure de l'amplitude (crête-à-crête) et de la latence de la réponse (entre l'arrivée du clic - représenté ici au-dessus de la réponse - et le pic négatif du potentiel d'action).

fait la diffusion du signal depuis le nerf jusqu'à l'électrode, conditions qui peuvent être très variables d'un sujet à l'autre. Par contre, les variations relatives de cette amplitude aux différentes intensités sont significatives puisque ces conditions sont les mêmes pour un même cas aux différentes intensités. C'est pourquoi l'amplitude est représentée sur une échelle linéaire en % de l'amplitude maximale laquelle est néanmoins indiquée en microvolts sur le graphique.

146.– Présentation des résultats

L'ensemble des informations fournies par les enregistrements est donc, pour chaque oreille :

- le seuil de la réponse au clic,
- la valeur de l'amplitude maximale,
- les courbes représentant les valeurs de l'amplitude et de la latence aux différentes intensités (courbes "entrée-sortie" amplitude-latence),
- enfin, ces deux grandeurs n'étant que deux aspects de la réponse proprement dite, la "forme" de la réponse qui sera qualifiée d'une manière générale avant qu'une analyse plus précise puisse en être faite, en rapide, lente, monophasique, diphasique, large, etc.
- éventuellement les seuils aux différents clics filtrés, ainsi que les formes de réponses correspondantes.

Sur le plan de l'utilisation clinique, nous avons établi deux modèles de fiches sur lesquelles sont rassemblés, avec les données audiométriques et cliniques, ces différents résultats (Fig. 28 et 29).

Dans le cadre de cet exposé les résultats sont présentés dans le détail, en particulier toutes les réponses enregistrées, à tous les niveaux d'intensité, sont systématiquement reproduites en regard du point correspondant de la courbe amplitude sur le graphique.

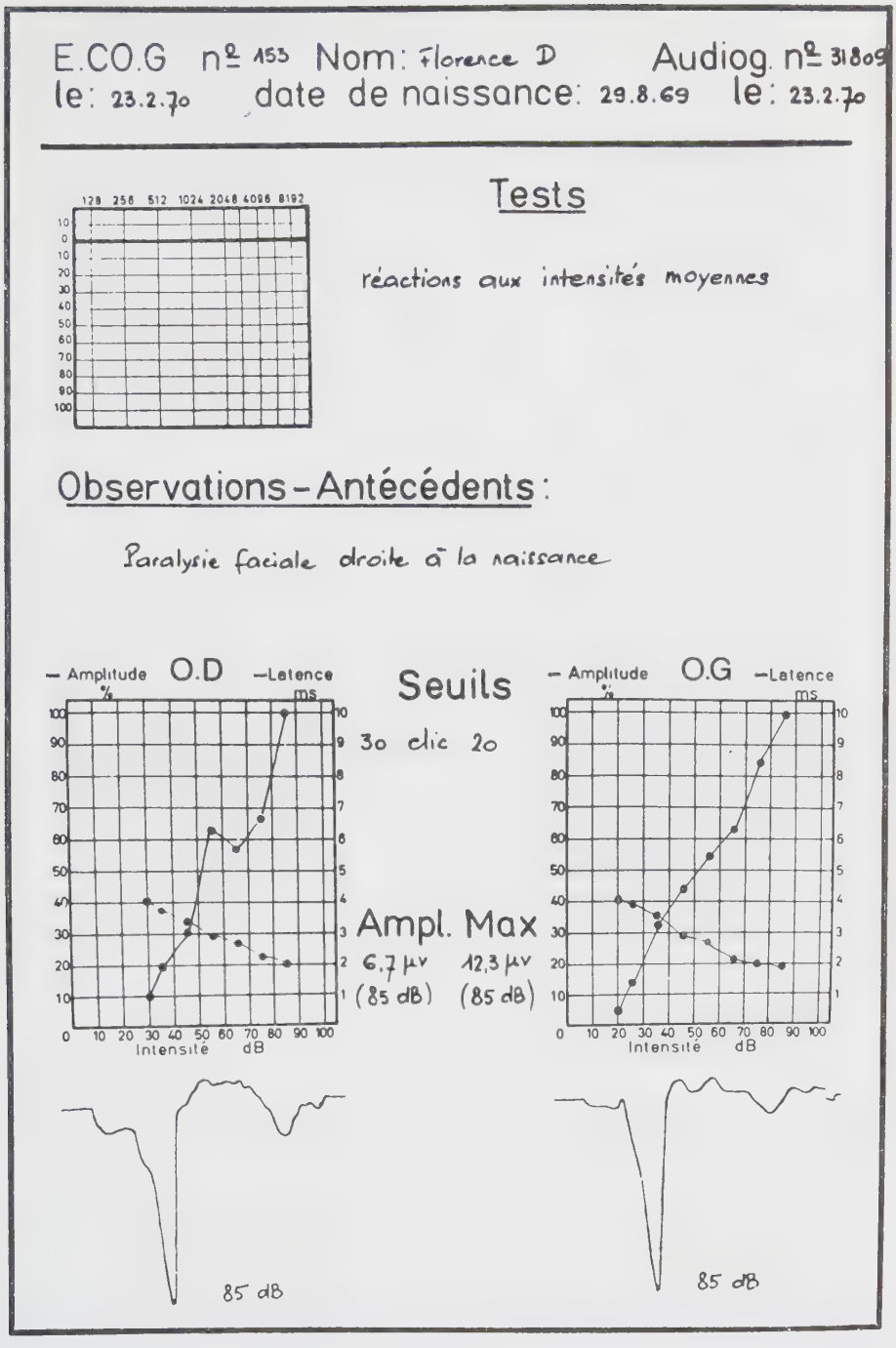


FIG. 28 - Modèle de fiche utilisée chez l'enfant et sur laquelle sont rassemblés les références du sujet, les résultats des tests d'audition classiques, les observations cliniques, puis les résultats des électro-cochléogrammes : courbes entrée-sortie, amplitude -latence, indication des seuils au clic et éventuellement aux différents clics filtrés, valeur des amplitudes maximales (avec indication du niveau sonore correspondant) et formes des réponses au clic au maximum.

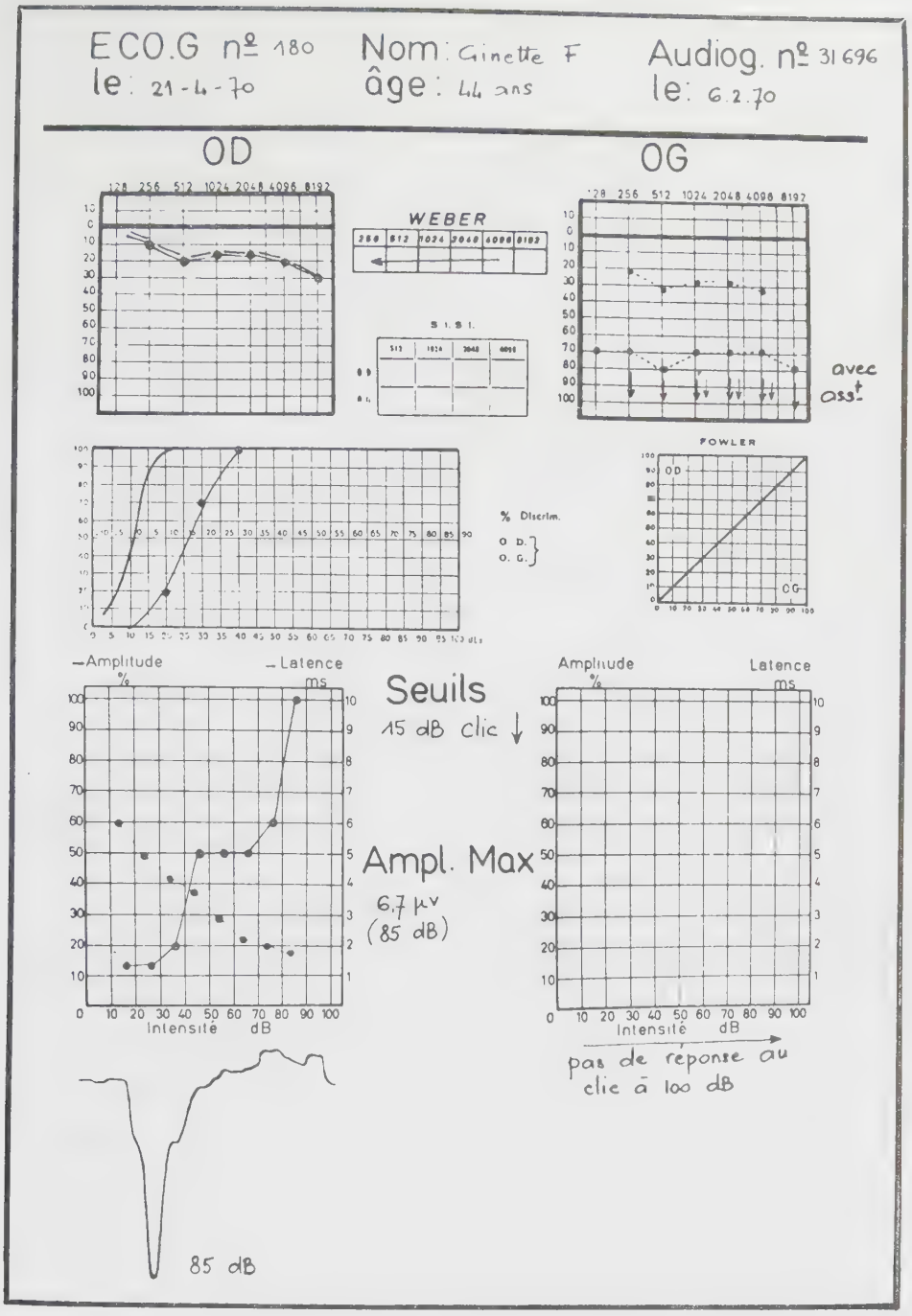


FIG. 29 - Modèle de fiche utilisée chez l'adulte.Ces fiches comportent l'ensemble des résultats des examens audiométriques (audiométrie liminaire et supra-liminaire, tonale et vocale). Les observations cliniques sont résumées au verso de la fiche. Dans ce cas l'audiogramme de l'oreille droite est normal ; pour l'oreille gauche, les courbes en pointillé sont les courbes aérienne et osseuse obtenues sans assourdir l'oreille droite : ce sont des courbes "fantômes" car elles correspondent à l'audition par l'oreille droite, des sons présentés à gauche. Lorsqu'on assourdit l'oreille droite, les sons ne sont plus perçus et les flèches sur l'audiogramme manifestent que les seuils éventuels sont au-delà des limites de l'appareil. Le test de WEBER (qui indique de quel côté un son présenté en voie osseuse sur le front est perçu) est ici vers l'oreille droite puisque l'oreille gauche est sourde. Les tests de FOWLER et S.I.S.I. permettent de mesurer les distorsions de l'audition supra-liminaire et seront décrits plus loin (page 73); ils n'ont pas été ici pratiqués. Le graphique sous l'audiogramme de l'oreille droite représente les résultats de l'audiométrie vocale, qui mesure le pourcentage de mots compris par rapport au nombre de mots présentés (pris dans des listes standard) aux différentes intensités de présentation. Ici elle a été réalisée pour l'audition binaurale. Les résultats des électro-cochléogrammes sont représentés comme pour les cas d'enfants (FIG. 28).

2.- RÉSULTATS

Les résultats des examens réalisés, toujours avec le même matériel décrit plus haut, en 1969, 1970 et 1971, sont présentés et analysés.

Cela représente 240 sujets dont 133 examinés sous anesthésie locale et pour lesquels on disposait de données audiométriques et cliniques et 107 examinés sous anesthésie générale et pour lesquels les autres données étaient beaucoup moins précises. Ces deux catégories correspondent respectivement en général aux sujets "adultes" et "enfants" et seront ainsi dénommées par la suite.

Les âges des sujets dans ces deux groupes sont répartis sur les deux tableaux de la figure 30.

Etant donné que, surtout chez l'enfant, les deux oreilles étaient souvent examinées, cela représente un total de 383 oreilles dont 200 chez l"adulte" et 183 chez l'"enfant".

Pour 94 oreilles (61 chez l'adulte, 33 chez l'enfant) on n'a pu observer de réponses même au clic à 105 dB. Dans tous les cas chez l'adulte cela confirmait un diagnostic de surdité totale (souvent unilatérale et difficile à certifier par d'autres méthodes).

Dans les 289 oreilles restantes, on a enregistré des réponses présentant diverses caractéristiques que nous allons décrire et analyser. Soulignons d'emblée que l'ensemble des sujets prove-

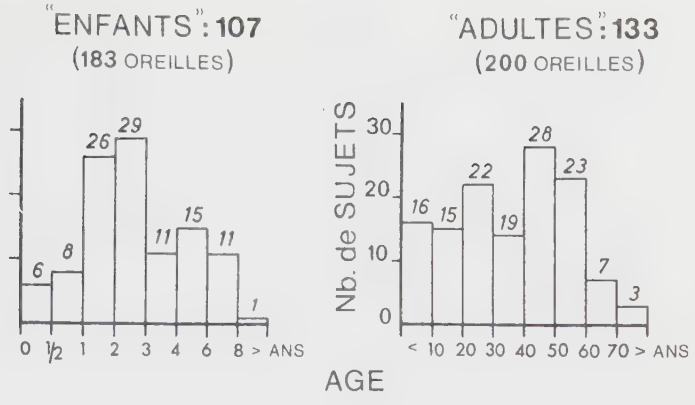


FIG. 30 - Répartition des sujets examinés en fonction de l'âge.

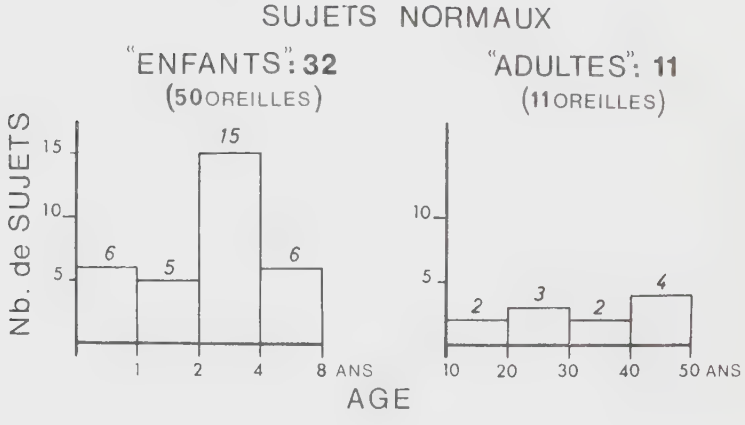


FIG. 31 - Répartition des sujets normaux en fonction de l'âge.

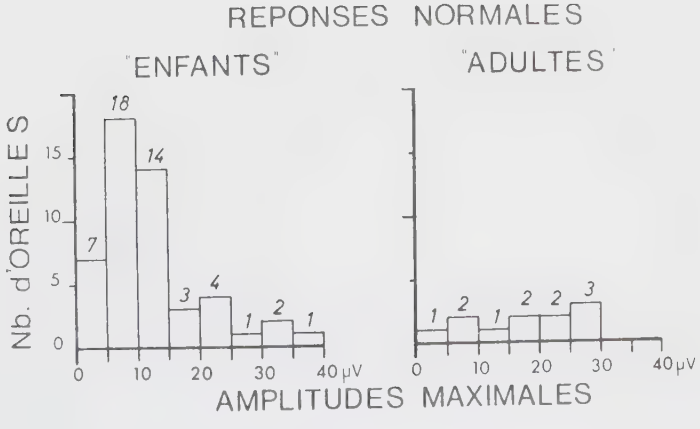


FIG. 32 - Répartition des amplitudes maximales observées chez les enfants et chez les adultes normaux.

nait de la consultation audiométrique et oto-rhino-laryngologique de l'Hôpital. Ils nous étaient adressés afin de préciser le diagnostic de surdité ou la nature d'un trouble pouvant être en rapport avec l'audition du sujet. Une large gamme de situations pathologiques a donc été couverte. Soulignons que, contrairement à ce que nous aurions souhaité faire afin de réaliser une étude précise et purement scientifique, nous n'avons jamais délibérement voulu choisir des sujets qui présentaient des données précises et caractéristiques tant audiométriques que cliniques. Cela aurait évidemment facilité les interprétations et fourni des résultats plus précis, mais on comprendra qu'une telle attitude est inenvisageable dans un service clinique. Cela transparait dans la variété des résultats obtenus. D'autre part si nous nous étions limité à l'étude de certains types de surdités ou de troubles, nous serions certainement passé à côté de divers phénomènes qui pouvaient s'avérer très intéressants.

Avant de présenter une classification et une répartition des différentes réponses observées, il convient de décrire dans le détail les types de réponses les plus caractéristiques et les plus couramment observés. Ce sont : les réponses normales ; les réponses dans les cas de surdité de transmission ; les réponses recrutantes ; les réponses dissociées ; les réponses larges et anormales. Nous verrons alors comment peut être classé l'ensemble des réponses. Enfin, nous présenterons certains cas très particuliers. Dans la troisième partie, en fonction des données actuelles sur le fonctionnement et la structure de l'oreille, et en fonction des données cliniques et audiométriques, une interprétation des différentes réponses sera proposée.

21.— REPONSES NORMALES

Bien que nous n'ayons jamais essayé systématiquement d'enregistrer les réponses sur un lot d'oreilles choisies pour leur caractère normal, de contrôle, pour des raisons évidentes, nous disposons cependant d'un certain nombre d'enregistrements qui proviennent d'oreilles que l'on peut sans ambiguïté qualifier de normales tant chez l'adulte que chez l'enfant.

En effet, chez l'adulte, surtout au début de l'utilisation clinique de la méthode, et afin d'en garantir le résultat, nous avons été amené, en particulier dans les cas de surdité unilatérale, à effectuer les enregistrements sur les deux oreilles dont l'une était suspectée de surdité totale quand l'autre était audiométriquement normale. L'obtention de réponses très nettes depuis les faibles intensités sur celle-ci, alors qu'aucune réponse n'était observée sur l'autre oreille, permettait de confirmer la surdité totale unilatérale sans difficultés. Ce faisant on a pu examiner un certain nombre d'oreilles normales.

Chez l'enfant le problème est plus délicat étant donné que les enregistrements n'étaient effectués que lorsque justement il était très difficile, par les techniques habituelles, de caractériser la qualité de l'audition. Si un grand nombre des enfants nous était adressé avec une indication de surdité, partielle ou profonde, probable, pour d'autres une telle indication était impossible en ce sens que pour ces enfants très jeunes et éventuellement perturbés mentalement ou psychiquement, les examens permettaient de supposer indifféremment l'une ou l'autre situation : audition normale ou surdité. Or, dans beaucoup de ces cas, les enregistrements présentaient suffisamment de caractères comparables aux caractères normaux chez l'adulte, et aussi aux nombreuses observations chez l'animal, pour que l'on puisse conclure en toute certitude que l'organe périphérique fonctionnait normalement, jusque et y compris le nerf auditif.

Nous allons donc présenter les enregistrements normaux chez l'adulte, puis ceux chez l'enfant, que nous comparerons entre eux (sur les 64 oreilles répertoriées, 3 ne sont pas prises en compte du fait que les enregistrements n'ont pas été conservés).

211.— Réponses normales chez l'adulte

A titre d'exemple un cas de réponses normales chez l'adulte est présenté plus loin (Cas n° 182, surdité totale unilatérale, p. 64).

Nous disposons au total de 11 cas et nous avons effectué les moyennes et écarts types sur les deux grandeurs principales de la réponse aux différentes intensités (du seuil à 85 dB par bonds de 10 dB) : l'amplitude et la latence.

La répartition des sujets suivant l'âge est représentée sur la figure 31.

Evidemment, pour les raisons énoncées plus haut (page 50) tous les calculs sont effectués sur les valeurs relatives de l'amplitude par rapport à l'amplitude maximale dans chaque cas. Celle-ci, sur les 11 cas, va de 3,6 à 28 µV avec une moyenne à 16,9 µV (σ = 8,6 µV) (Fig. 32).

Les courbes moyennes sur les 11 oreilles et les variations autour de la moyenne, ainsi que l'intervalle de confiance sont représentés sur la figure 33.

D'emblée on observe, autant sur la moyenne que sur les cas isolés, les caractéristiques principales suivantes :

— seuil autour de 7,7 dB (σ = 8,48 dB)

— latence au seuil diminuant lors de l'augmentation de l'intensité du clic, de 5 ms au seuil (σ = 0,95 ms) à 1,5 ms à 85 dB (σ = 0,31 ms).

— amplitude augmentant de manière différente aux différentes intensités :
  - intensités faibles (< 45 dB) pente de 1,3 %/dB
  - intensités moyennes (45-65 dB) pente de 0,4 %/dB
  - intensités fortes (65-85 dB) pente de 2,2 %/dB

  Ces trois parties correspondent respectivement à la courbe "L" de YOSHIE, au plateau et à la courbe "H".

— Enfin la forme de la réponse (caractère monophasique ou diphasique largeur du premier pic N1, présence d'autres pics) sera étudiée plus en détail, sur un plus grand nombre de cas chez l'enfant normal.

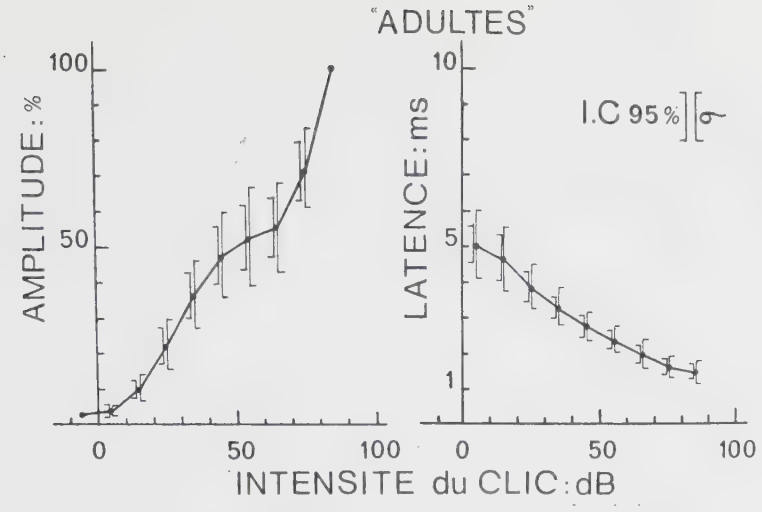


FIG. 33 - Courbes moyennes, écarts-types et intervalles de confiance, pour l'amplitude et la latence, calculés sur les 11 oreilles adultes normales.

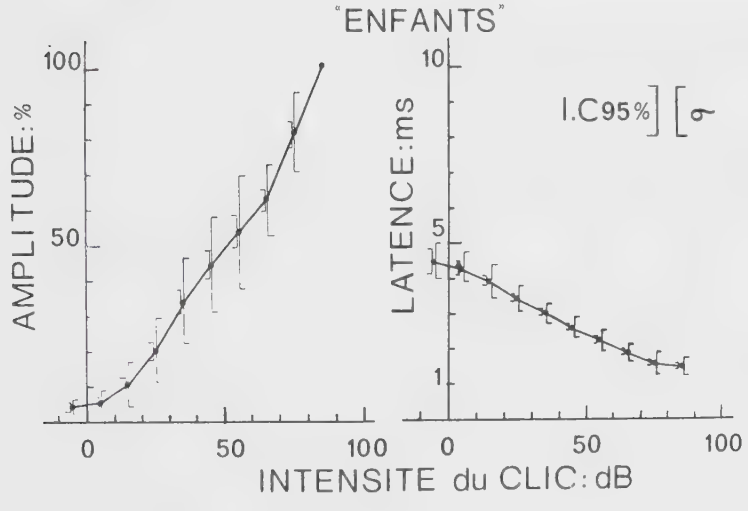


FIG. 34 - Courbes moyennes, écarts-types et intervalles de confiance, pour l'amplitude et la latence, calculés sur les 50 oreilles d'enfant normales.

212.– Réponses normales chez l'enfant

Nous disposons de 50 enregistrements chez 32 enfants. La répartition des âges est représentée sur la figure 31. Un exemple chez un enfant de 5 mois est présenté plus loin (Cas n° 249, oreilles droite et gauche, page 65).

Les mêmes calculs effectués sur ces 50 enregistrements donnent (Fig. 34) :

— seuil autour de 8,9 dB (σ = 8,5 dB)

— latence au seuil de 4,5 ms (σ = 0,5 ms)

— latence à 85 dB de 1,5 ms (σ = 0,27 ms)

— pentes de la courbe amplitude aux différentes intensités :
  - < 45 dB : 1,2 %/dB
  - 45-65 dB : 0,8 %/dB
  - 65-85 dB : 1,9 %/dB

— amplitude maximale allant de 1,5 à 38,5 µV avec une moyenne à 12,1 µV (σ = 8,12 µV).

Disposant d'un plus grand nombre de cas que chez l'adulte, nous avons pu aussi étudier les autres paramètres qui peuvent caractériser les réponses normales :

Caractère monophasique ou diphasique.–

Le pic N1 de la réponse est souvent suivi d'un rebondissement positif de la trace au-dessus de la ligne de base. On constate d'emblée que ces réponses normales sont à tendance diphasique aux faibles intensités et monophasique aux fortes intensités (pas de rebondissement positif). Pour chiffrer cette évolution, on a mesuré le rapport entre le dépassement positif et l'amplitude crête-à-crête de la réponse soit : $\rho = \frac{A'C}{AB}$ (Fig. 35).
La ligne de base est définie par la moyenne des 10 premiers points d'échantillonnage avant l'arrivée du clic. La courbe représentant les valeurs de ce dépassement (en %) aux différentes intensités est représentée sur la figure 36. Le caractère diphasique est très prononcé jusqu'aux intensités moyennes (ρ > 25 % en dessous de 50 dB). Ce

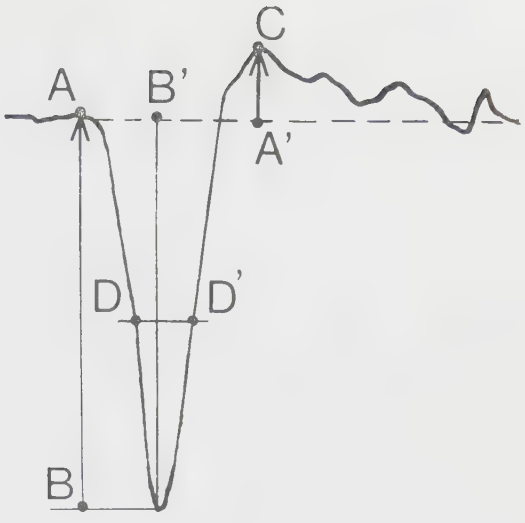


FIG. 35 - Mesure du dépassement

$$\rho = \frac{A'C}{AB}$$

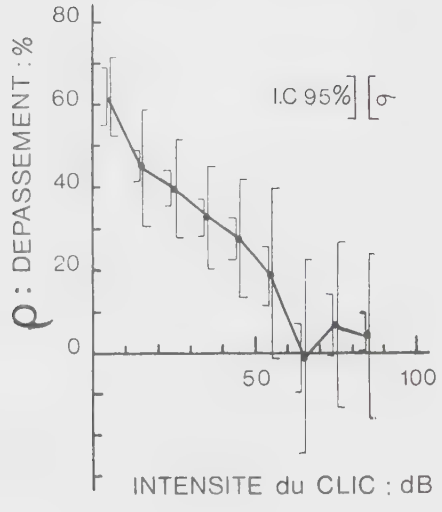


FIG. 36 - Valeurs du dépassement en fonction de l'intensité du clic, calculées sur les 50 oreilles d'enfant normales.

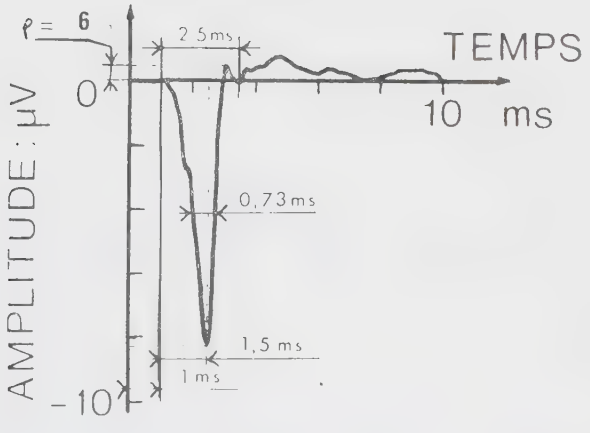


FIG. 37 - Réponse type normale à 85 dB.

caractère s'atténue progressivement et peut même s'inverser (la trace ne remontant pas jusqu'à la ligne de base après N1) (ρ < 10 % au-delà de 60 dB).

Largeur du pic N1.—

La largeur du pic N1 parait aussi très précise. Nous ne l'avons considérée que sur la réponse à 85 dB. Devant la difficulté de la mesurer au niveau de base, puisque dans certains cas la réponse n'y remonte pas, on a préféré la mesurer à mi-hauteur du pic (points D et D' sur la figure 35). La largeur moyenne à 85 dB est de 0,73 ms avec un écart type égal à 0,17 ms et un intervalle de confiance (95 %) de 0,05 ms.

Autres pics N2, N3, etc .—

Sur les 50 examens d'enfants, la présence de N2 à 85 dB se manifeste 27 fois, soit dans 54 % des cas. Sa latence moyenne est de 2,5 ms et son amplitude est toujours très faible par rapport à celle de N1. Chez l'adulte on l'a rencontré 7 fois (63 %) et sa latence est la même.

N3 n'est pratiquement jamais rencontré, à quelque intensité que ce soit, tant chez l'adulte que chez l'enfant.

213.— **Différence adulte-enfant normaux**

Les principales différences résident dans :

— la latence au seuil qui est plus longue chez l'adulte,
— la forme de la courbe amplitude qui présente un plateau plus marqué chez l'adulte.

Ces différences paraissent le signe d'un vieillissement de la cochlée et seront interprétées à l'occasion de l'étude des réponses pathologiques (§35, page 144).

En fonction de ces observations et de ces mesures, on peut tracer la réponse typiquement normale à 85 dB (donc chez l'enfant) qui est représentée sur la figure 37.

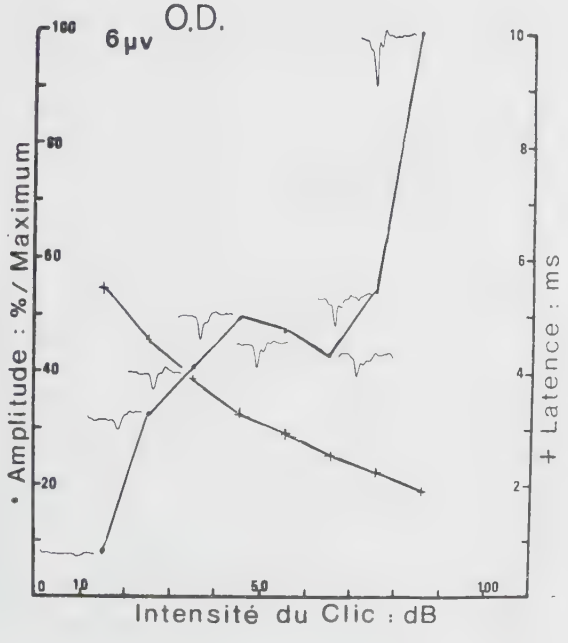
EXEMPLES*

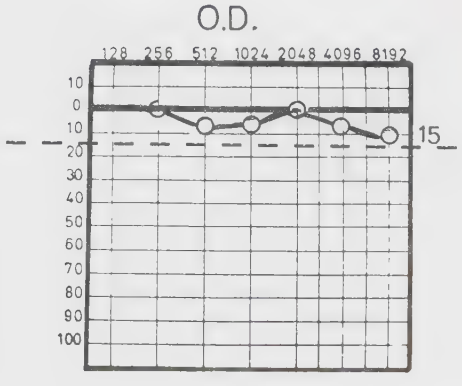
CAS N° 182 D : Firmin B..., 27 ans.

Histoire clinique : *après traumatisme crânien, l'audition de ce malade, à gauche, a chuté considérablement. Il souffre en outre de vertiges. Etant donné l'audition absolument normale au niveau de l'oreille droite, il était difficile malgré l'assourdissement de cette oreille, de certifier la surdité totale à gauche. C'est pourquoi un électrocochléogramme a été réalisé, pour les deux oreilles.*

E.Coch.G . :

- *Oreille gauche : on n'observe aucune réponse même pour le clic à 105 dB. La surdité parait donc totale.*
- *Oreille droite : ici on trouve des réponses depuis 15 dB qui présentent toutes les caractéristiques des réponses normales.*





* Pour tous les exemples, le trait horizontal (– – –) sur l'audiogramme indique le niveau du seuil des réponses électrocochléographiques au clic.

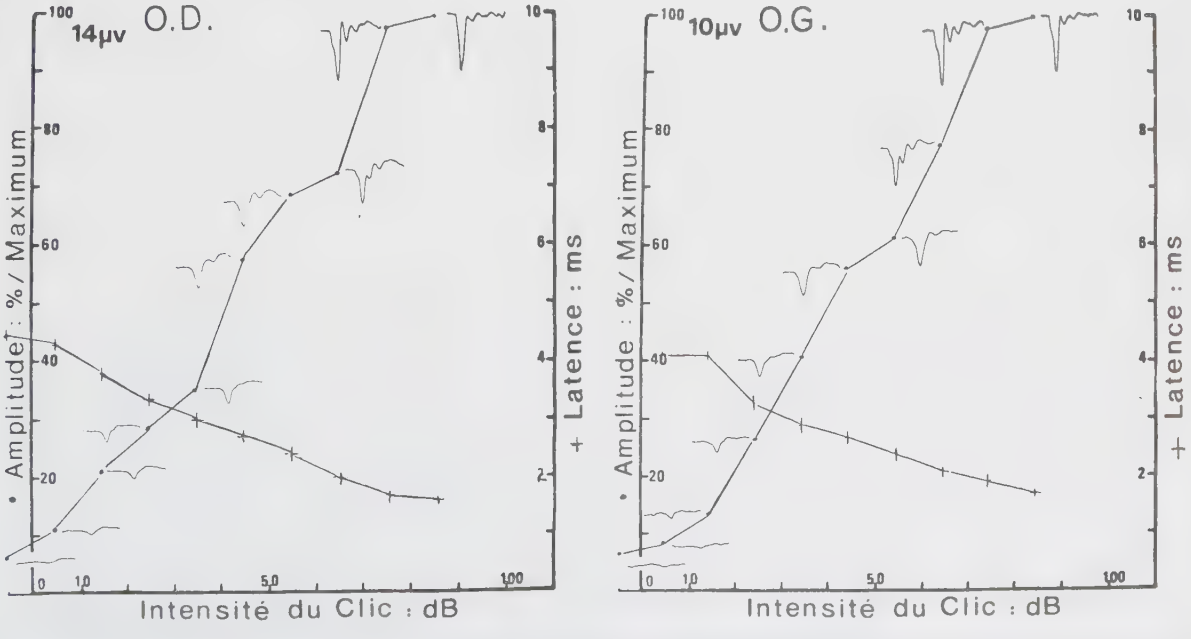
CAS N° 249 : Christine R..., 5 mois

Histoire clinique : *le bébé est envoyé par le spécialiste O.R.L. que les parents ont consulté soupçonnant une surdité importante. Pas d'antécédents notables. Grossesse et naissance normales. Le développement pondéro-statural a été normal. Les parents ont remarqué eux-mêmes que l'enfant ne réagissait à aucun bruit (claquement de porte, objet qui tombe).*

Audiométrie : *il s'agit d'une petite fille de 5 mois qui paraît éveillée. Elle essaie de se tenir assise, de prendre des objets, elle sourit quand on l'amuse, on peut capter son regard. Le développement psycho-moteur parait sensiblement normal. Effectivement, on est frappé par l'inintérêt au bruit. Les jouets sonores à moyenne intensité, émis par surprise, n'entraînent aucune réponse de type investigation, orientation. Même pour les sons nettement plus forts il n'y a pas de réaction d'arrêt ou de réflexe. On obtient seulement un réflexe cochléo-palpébral pour des intensités très fortes, mais l'enfant ne cherche pas d'où vient le son.*

E.Coch.G. : *les résultats des électro-cochléogrammes réalisés à droite et à gauche sont absolument normaux et très superposables entre les deux oreilles.*

En conclusion : *l'audition est normale, au grand étonnement des parents. Les causes de cet inintérêt au son ne sont pas connues : il ne semble pas s'agir de retard mental ni d'autisme précoce. On retient seulement que le père étant employé sur des chantiers, la famille vit à l'étroit dans une petite caravane et donc dans un cadre restreint et bruyant.*



En dehors des 94 oreilles sourdes et des 64 oreilles normales, parmi les 224 oreilles restantes, une grande variété de réponses a été observée. Nous décrirons d'abord les types de réponses les plus clairs et les plus précis dont l'étude permettra de considérer ensuite les cas moins spécifiques qui, en général, vue l'étendue de la gamme de pathologies considérée, relèvent simultanément de plusieurs pathologies et se situent, sur le plan électrocochléographique, entre ces types de réponses bien définis qui sont les types : "Transmission" (pure), "Recrutant", "Dissocié", "Large" et "Anormal".

22.— "TRANSMISSION"

Le premier facteur qui peut altérer le fonctionnement du récepteur périphérique, en présence ou non d'une dégénérescence neuro-sensorielle, est mécanique et se situe au niveau de l'oreille moyenne. En effet, celle-ci a pour fonction essentielle d'adapter l'impédance mécanique de l'air à celle des liquides de l'oreille interne (respectivement 41,5 et 161.000 gr/sec/Cm^2), de telle sorte qu'il n'y ait pas 99,9 % de l'énergie réfléchie lors du passage de la vibration de l'air aux liquides. Cela serait le cas en l'absence du tympan et des osselets (WEVER et LAWRENCE, 1954). Son rôle secondaire est de conduire la vibration uniquement à la fenêtre ovale et de favoriser ainsi le "jeu" des deux fenêtres qui, la capsule otique et les liquides étant incompressibles, s'équilibrent en vibrant en opposition de phase.

Un défaut dans la transmission de la chaîne ossiculaire ne fait donc qu'atténuer l'intensité de la vibration atteignant la fenêtre ovale mais ne modifie pas les mécanismes de l'oreille interne une fois que celle-ci se propage dans les liquides. En présence d'une oreille interne normale et d'une surdité de transmission, on doit donc s'attendre à observer, sur le plan des réponses du nerf auditif, une élévation du seuil mais des réponses normales au-delà. C'est à dire des résultats identiques au cas normal, mais seulement pour des intensités plus fortes (voir Figure 38).

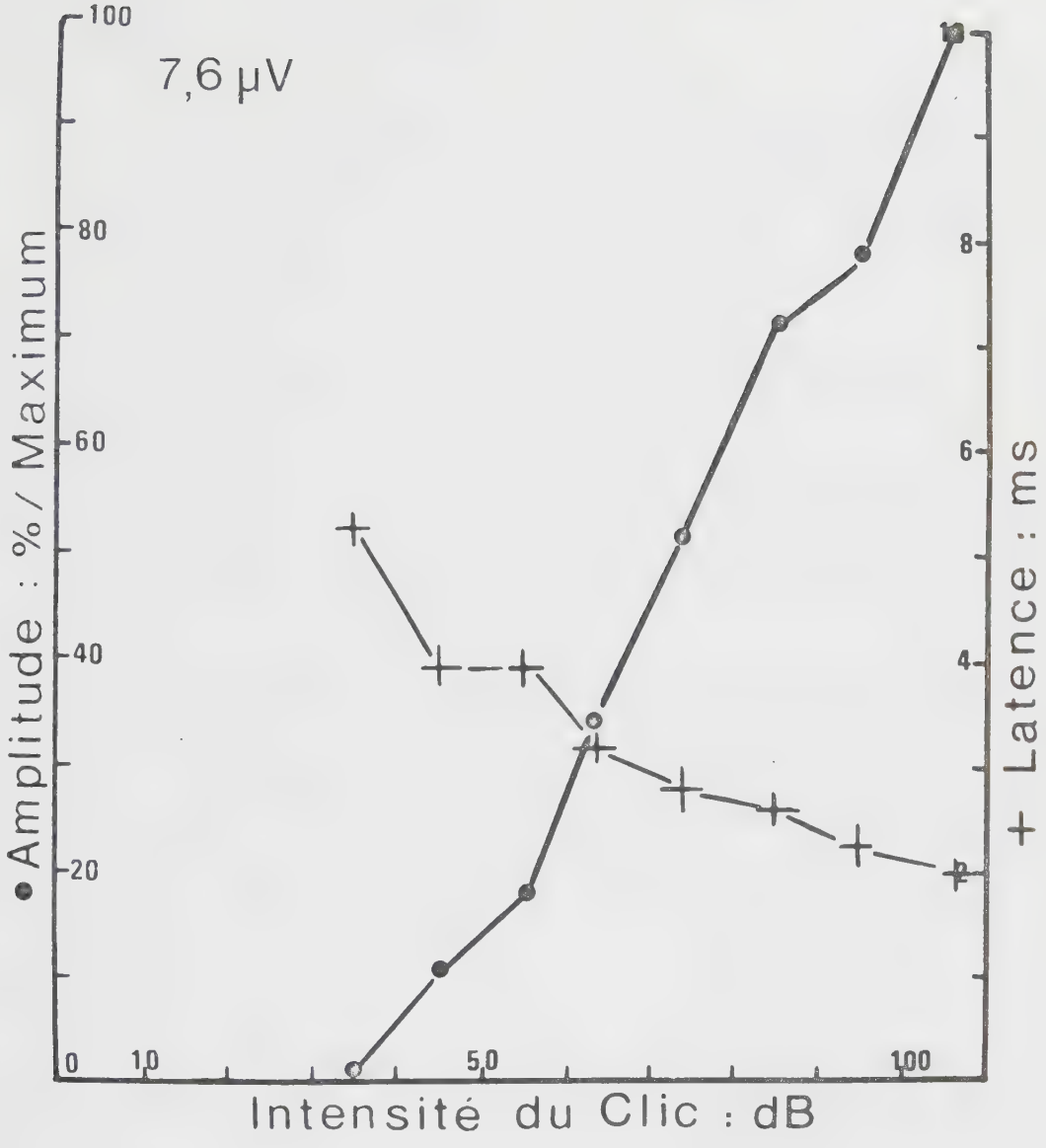


FIG. 38 - Courbe théorique dans le cas d'une surdité de transmission pure, obtenue en supposant que seul un décalage du seuil intervient mais que les réponses considérées en dB au-dessus du seuil, sont normales. Pour cela on prend les réponses normales de l'enfant n° 249 (oreille gauche, page 65) et on transpose les réponses obtenues entre - 5 et 65 dB entre 35 et 105 dB. La réponse maximum n'est alors plus que de 7,6 µV, amplitude que l'on avait à 65 dB. Le plateau est alors décalé vers la droite et le haut du graphique.

C'est ce que nous avons trouvé dans 15 oreilles, dont 5 chez l'adulte présentant un audiogramme en conduction osseuse normal donc une oreille interne normale.

Les cas de surdité mixte c'est-à-dire pour lesquels il y a, outre un défaut de transmission de l'oreille moyenne, une atteinte de l'oreille interne ou du nerf auditif (surdité de réception) seront décrits après avoir considéré l'ensemble des types de réponses observés dans les surdités de réception.

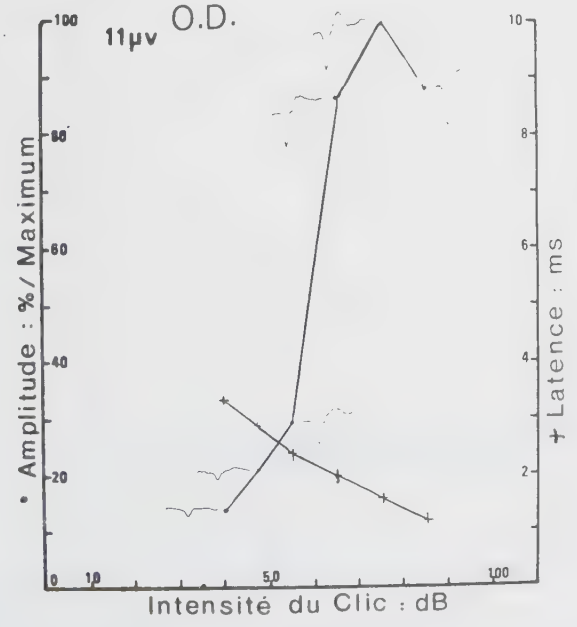
E X E M P L E S

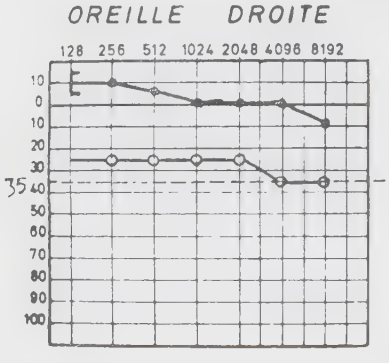
CAS N° 96 D : Jean-Paul P..., 14 ans

Histoire clinique : *il s'agit d'un enfant qui présente une otorrhée chronique de l'oreille droite avec perforation du tympan ne touchant pas le cadre. Dans les antécédents, on ne relève que des otites répétées.*

Audiométrie : *l'audiogramme objective une surdité de transmission pure avec une courbe en voie osseuse normale et un Rinne* de 25 à 30 dB.*

E.Coch.G . : *on constate, malgré une élévation du seuil à 35 dB une latence au seuil de 3,5 ms et une diminution progressive de cette latence avec l'augmentation de l'intensité du clic.*





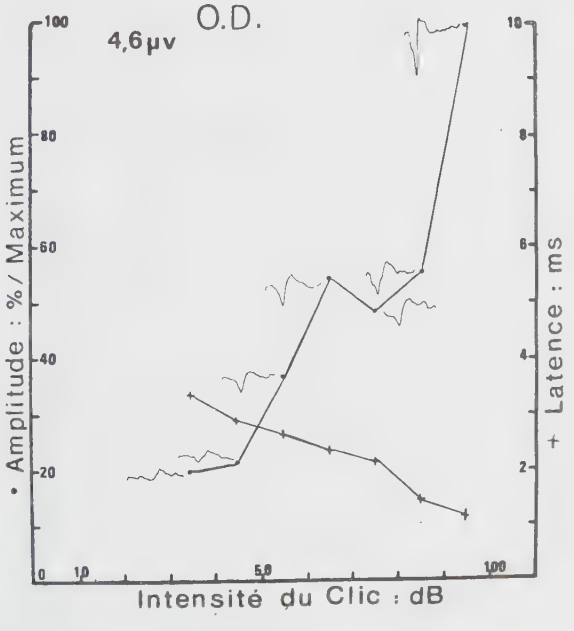
* Le RINNE exprime, en dB, l'écart entre les seuils audiométriques en voie osseuse et en voie aérienne.

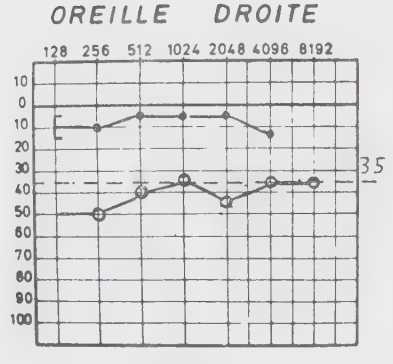
CAS N° 99 D : Daniel P..., 19 ans

Histoire clinique : *ce patient présente depuis 4 ans une otorrhée purulente fétide à droite avec perforation mésotympanale, alors que l'oreille gauche est strictement normale.*

Audiométrie : *l'audiogramme objective une surdité de transmission pure (courbe osseuse normale et Rinne de 30 dB).*

E.Coch.G. : *on note l'élévation du seuil (35 dB), mais la latence est de 3,5 ms au seuil ; on observe aussi un plateau dans la croissance de l'amplitude, mais autour de 70 dB au lieu de 50 chez le sujet normal. Cela montre un décalage des courbes du sujet normal vers les intensités plus élevées, décalage qui mesure la perte par transmission.*





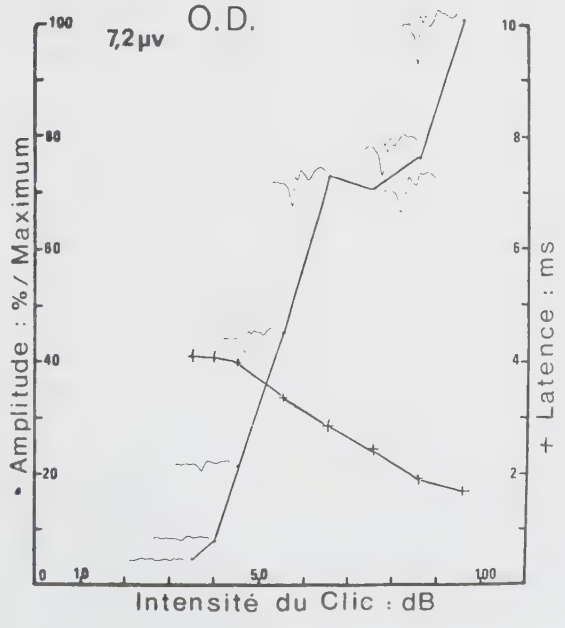
CAS n° 175 : René R..., 48 ans

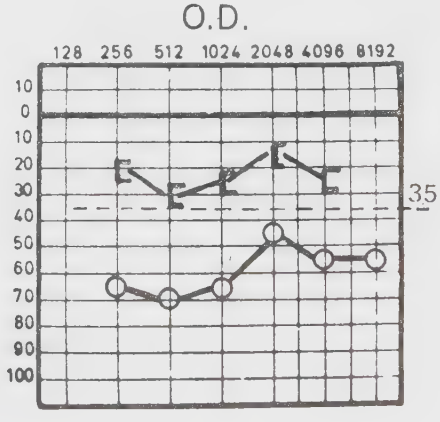
Histoire clinique : *ce patient présente autant du côté droit que du côté gauche un tympan plaqué sur fond de caisse. Dans les antécédents on note une paralysie faciale depuis 13 ans, un déséquilibre à la marche et une surdité profonde à gauche. Ce malade a présenté des otites et avoue n'avoir jamais bien entendu.*

Audiométrie :

- *oreille droite : surdité mixte avec courbe osseuse à 20 dB environ et courbe aérienne aux alentours de 60 dB.*
- *oreille gauche : il y aurait surdité totale qu'il a paru nécessaire de confirmer par l'électro-cochléogramme.*

E.Coch.G . : *aucune réponse n'est obtenue pour l'oreille gauche. Pour l'oreille droite, on obtient un seuil à 35 dB avec une latence de 4 ms et un pallier dans la courbe amplitude entre 70 et 80 dB. Cela suggère que la surdité est moins pronconcée que ne l'indique l'audiogramme et que l'oreille interne est certainement normale.*





23.— REPONSES "RECRUTANTES"

Dans 32 oreilles, dont 17 dans le groupe "adultes", des réponses aux caractéristiques très précises suivantes ont été observées.

On note :

— un seuil élevé (à un niveau voisin du seuil moyen tonal - voir 210);

— une latence de la réponse au seuil courte (autour de 2 ms), en fait identique à celle de la réponse du sujet normal au même niveau d'intensité physique ;

— une augmentation rapide de l'amplitude de la réponse lors de l'augmentation de l'intensité du clic ;

— une amplitude maximale de la réponse souvent importante ;

— une forme de la réponse rapide, fortement diphasique (pic négatif suivi d'un rebondissement positif important) à toutes les intensités.

Sur le plan de l'audiométrie on trouve, lorsque celle-ci était réalisable (dans les 17 cas du groupe "adultes"), une surdité moyenne ou profonde qui présente les particularités suivantes :

— la surdité est étendue sur tout le domaine de fréquences depuis les graves jusqu'aux aigus (voir l'ensemble des audiogrammes correspondant sur la figure 39). Si pour chaque sujet on détermine le seuil tonal moyen (moyenne des seuils aux différentes fréquences), la moyenne de ce seuil sur les 17 cas est de 63,3 dB et l'écart type moyen entre les seuils tonals et les moyennes tonales correspondantes est de 11,4 dB. Cela signifie que les audiogrammes sont en quelque sorte "plats". On note en particulier que le seuil à 250 Hz est toujours en dessous de 30 dB environ (Fig. 39)

— surtout, et cela est très caractéristique, chaque fois que, lors des examens audiométriques, l'audition supra-liminaire était étudiée, on trouvait une altération très nette connue sous le nom de recrutement : c'est une compression de la dynamique de l'audition se traduisant par une augmentation anormalement trop forte de la sensation sonore lors de l'augmentation de l'intensité du son. Il n'y a pas décalage du champ auditif comme dans le cas de surdité de transmission

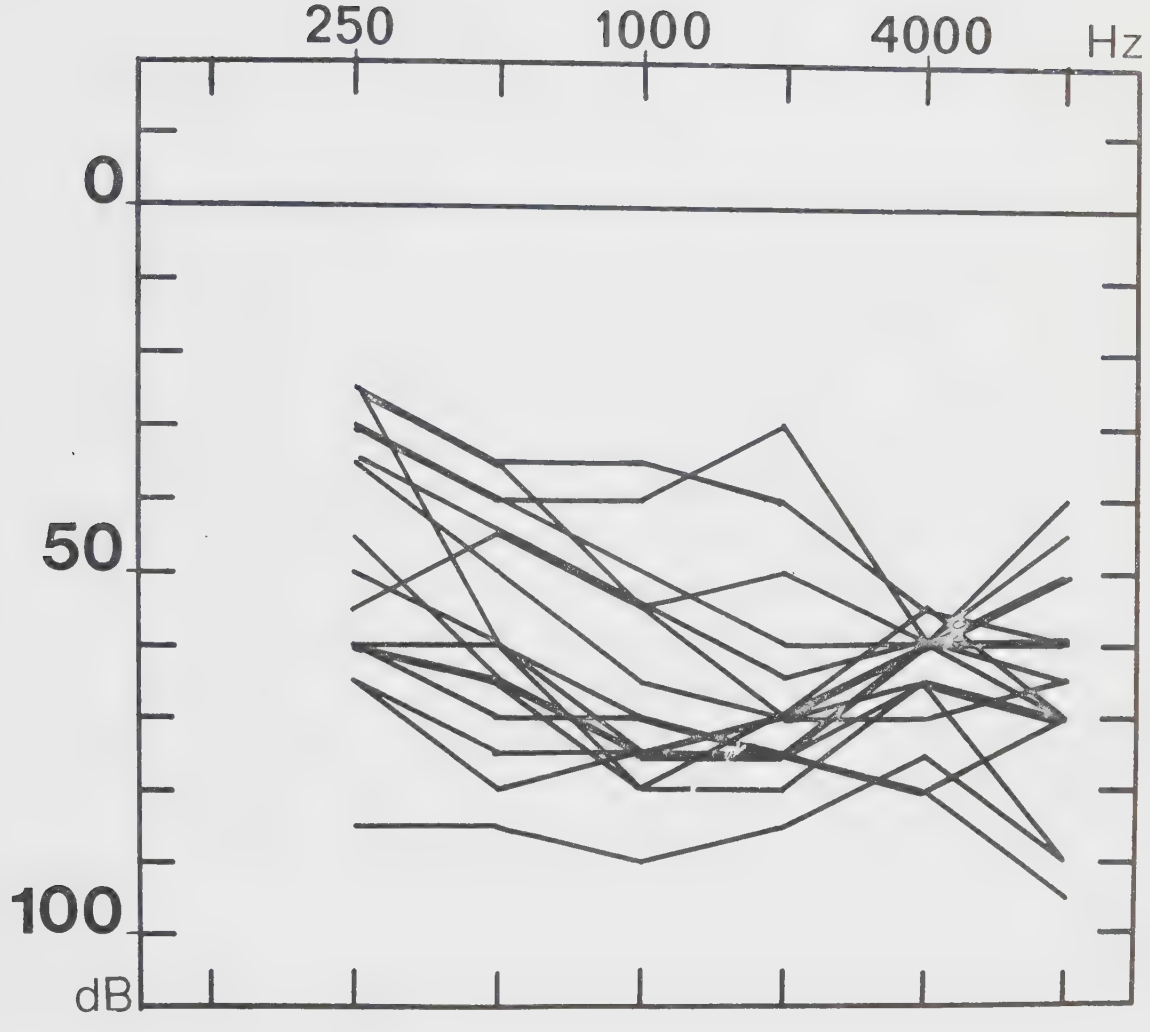


FIG. 39 - Ensemble des audiogrammes des sujets présentant les réponses typiques recrutantes.

(où le seuil d'audition et le seuil douloureux sont élevés tous deux de la même manière), mais compression par rapport au sujet normal.

Le seuil d'audition étant élevé, le sujet entend très vite normalement au-dessus et le seuil douloureux par exemple est au même niveau physique que pour le sujet normal. Cette dynamique peut être différente pour diverses fréquences, c'est pourquoi on le mesure à chaque fréquence.

Diverses épreuves permettent de mesurer ce recrutement, la plus spécifique étant l'épreuve de FOWLER, car elle correspond à la définition exacte du phénomène. Elle consiste à comparer, pour une même fréquence, l'égalité de niveau de sensation sonore entre les deux oreilles à différentes intensités (épreuve de balance). D'autres épreuves sont utilisées en audiométrie courante : l'épreuve de LUSCHER et SWISLOCKI qui mesure le seuil différentiel d'intensité et dont le résultat s'exprime, sur les audiogrammes, en dB (Δ). Il est normalement de 1 dB ; s'il tombe en-dessous de 0,7 dB, il y a recrutement. L'épreuve de JERGER : le SISI (Short Increment Sensitivity Index) qui mesure, en %, le nombre de fois où le sujet a perçu les brèves augmentations d'intensité (1 dB) d'un son pur permanent par rapport au nombre réel de présentations de ces incréments. Au-dessus de 60 %, le test est positif et signale le phénomène de recrutement (FOWLER, 1963 ; LUSCHER, 1950 ; LUSCHER et SWISLOCKI, 1951 ; JERGER, 1962 ; PORTMANN, 1964).

D'emblée, avant l'interprétation anatomo-pathologique et fonctionnelle de ces cas (voir § 3,p.122),la présence de ce recrutement audiométrique, asscociée au fait que la stimulaiton sonore semble, au vu de la croissance rapide de l'amplitude de la réponse globale, recruter un nombre élevé de fibres, nous a incité à qualifier les réponses de ce type de recrutantes.

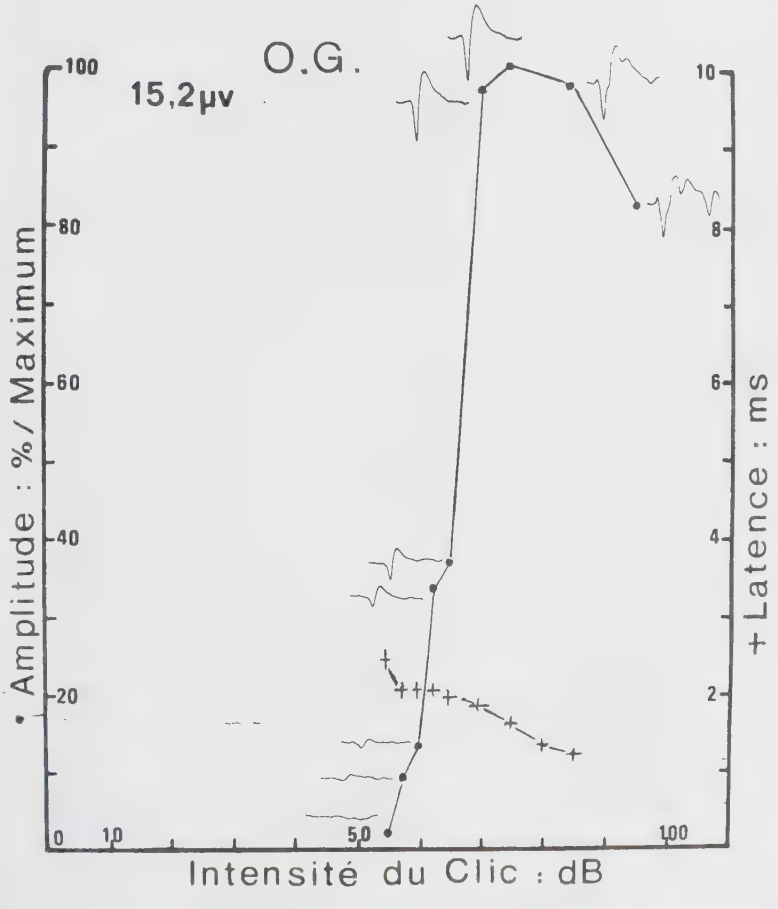
E X E M P L E S

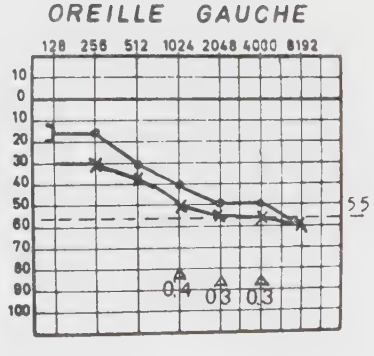
CAS N° 155 G : Philippe E..., 9 ans et demi

Histoire clinique : *cet enfant présente un retard dans l'établissement du langage, une surdité probablement congénitale aggravée par des épisodes otitiques et rhino-pharyngés actuellement guéris.*

Audiométrie : *les tests du recrutement Lüscher et SISI (100 %) sur les fréquences 1000, 2000 et 4000 sont très positifs.*

E.Coch.G . : *on trouve ici toutes les caractéristiques décrites plus haut ; le seuil pour le 9600 Hz a été trouvé à 70 dB. On conçoit que cet enfant a, pour son oreille gauche, une* dynamique *très réduite.*



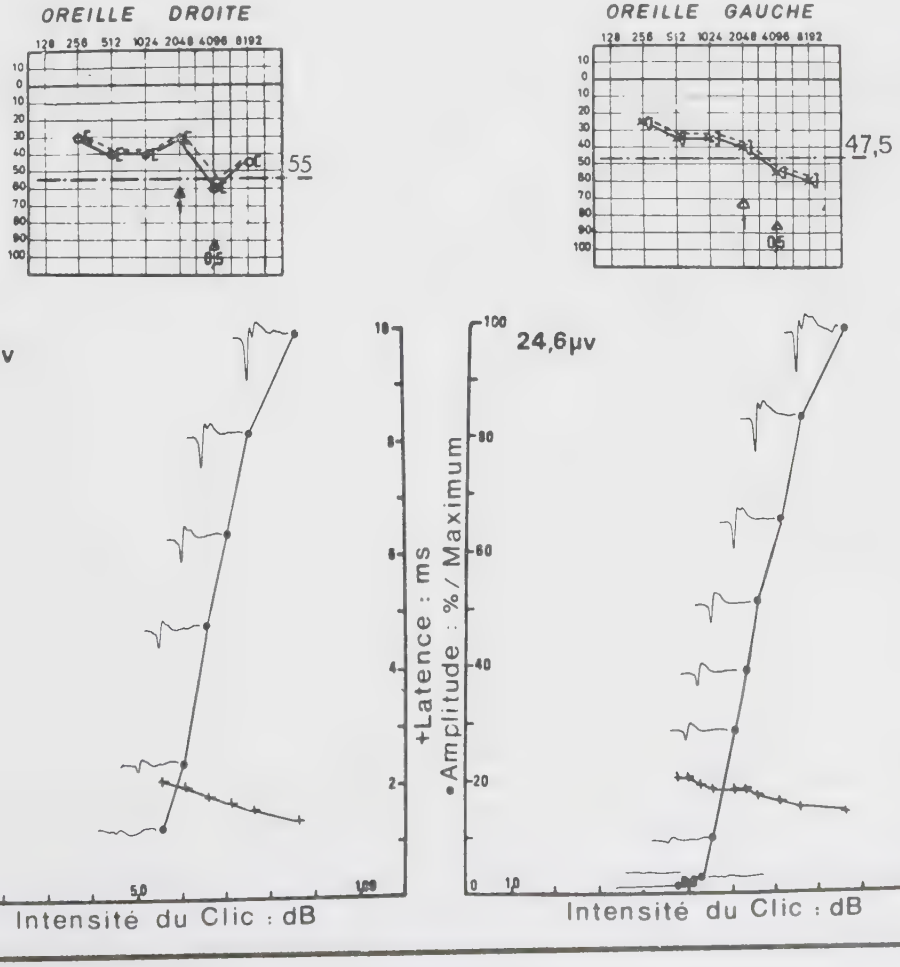


CAS N° 238 : Domingo G..., 39 ans

Histoire clinique : *les antécédents ne révèlent aucun élément permettant de rattacher cette hypoacousie à une étiologie précise.*

Audiométrie : *les tests audiométriques montrent une surdité de perception bilatérale pratiquement symétrique. L'audiométrie vocale montre une perte en moyenne de 30 dB. Les tests supraliminaires montrent, au SISI : 40 % à droite sur le 2000 et 100 % sur le 4000, à gauche 30 % sur le 2000 et 100 % sur le 4000. Le test de Lüscher pratiqué à droite et à gauche sur le 4000 montre la présence de recrutement.*

E.Coch.G . : *les résultats sont extrêmement semblables pour les deux oreilles et les formes des réponses sont pratiquement superposables entre les deux oreilles. Noter la présence de N2 à 75 et 85 dB. On retrouve toujours les mêmes caractéristiques de la réponse recrutante. Pour l'oreille gauche, les enregistrements ont été faits de 2,5 en 2,5 dB et l'augmentation de l'amplitude est très nette.*

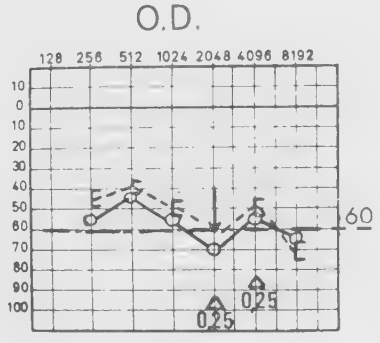


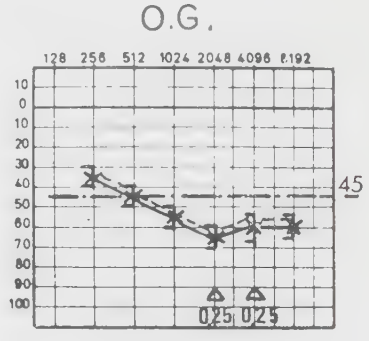
CAS N° 247 : Alain L..., 23 ans

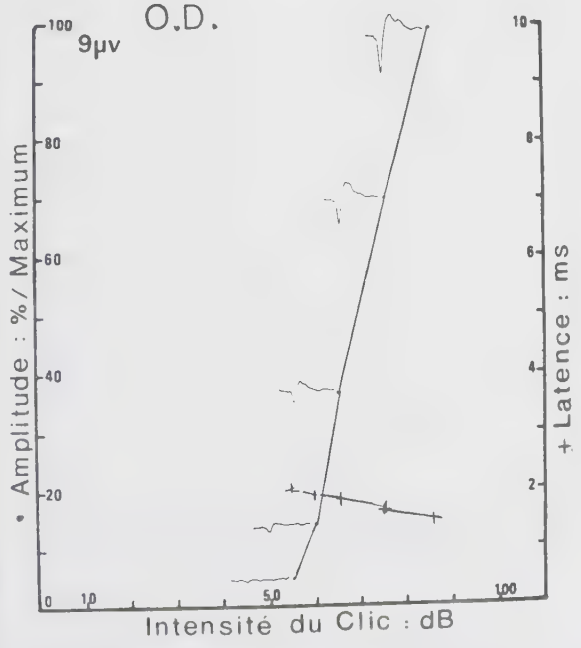
Histoire clinique : *aucun antécédent notable n'a permis de rattacher cette hypoacousie à une étiologie précise.*

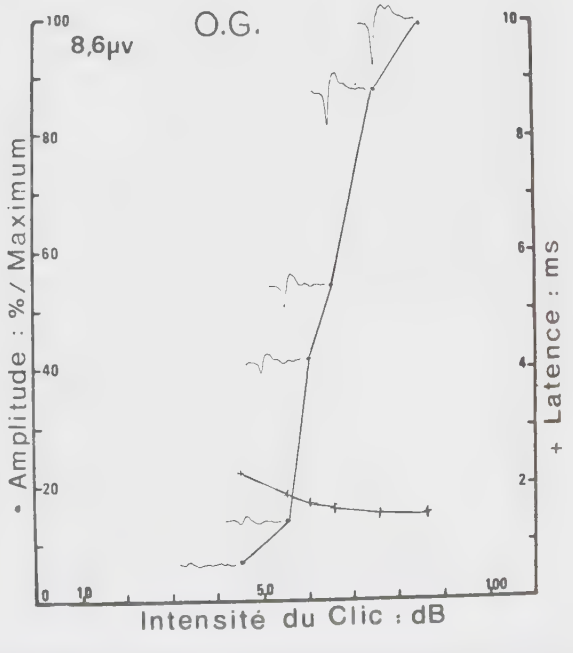
Audiométrie : *surdité de réception bilatérale de 50 dB environ. Les tests supra-liminaires SISI et Lüscher sur le 2000 et le 4000 sont très positifs pour les deux oreilles.*

E.Coch.G . : *réponses recrutantes typiques pour les deux oreilles.*







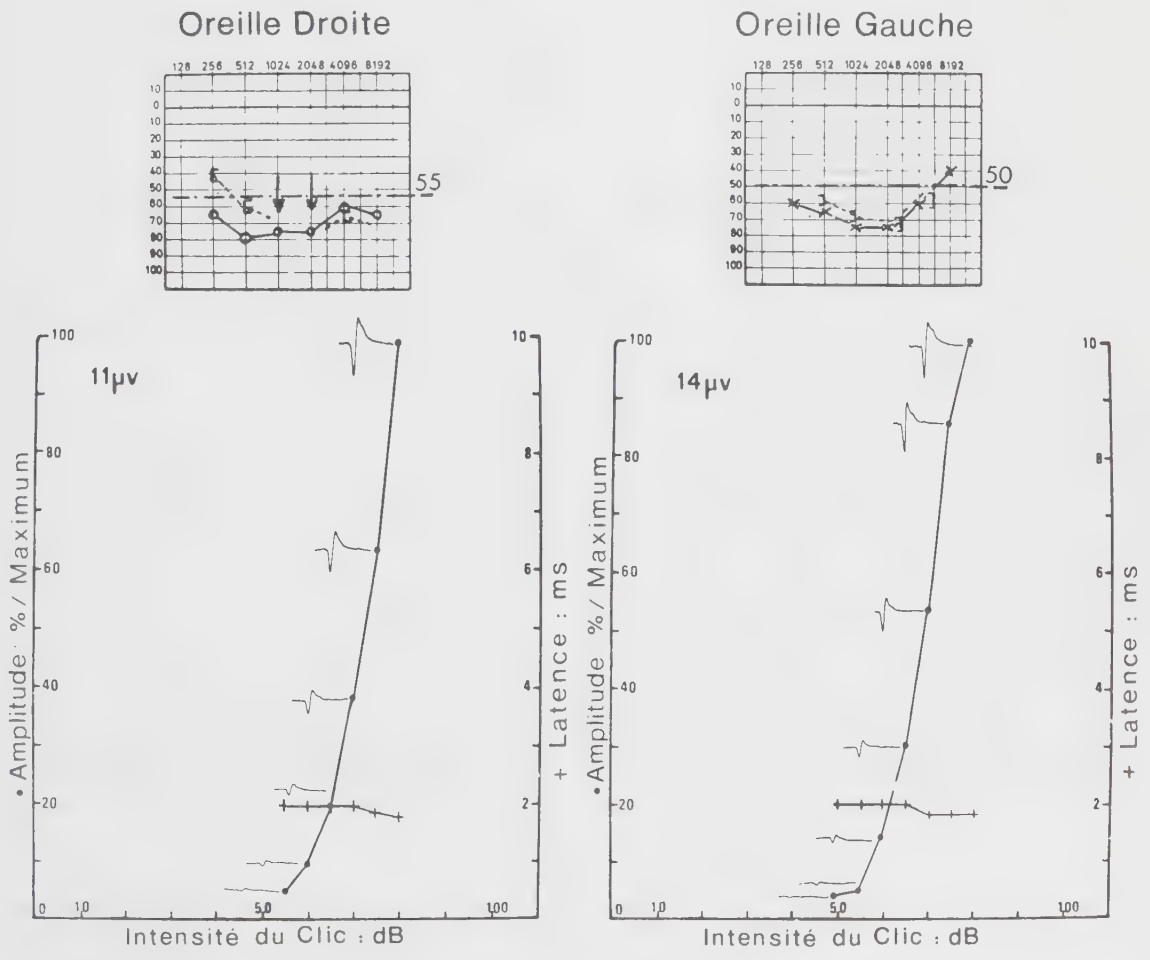


CAS N° 312 : Nathalie R..., 7 ans

Histoire clinique : *embryopathie rubéolique. Malformation cardiaque opérée à l'âge de 4 mois. 24 heures de coma.*

Audiométrie : *surdité de réception bilatérale.*

E.Coch.G. . : *réponses très rapides, de latence courte, très diphasiques, augmentation rapide de l'amplitude, amplitudes maximales normales.*

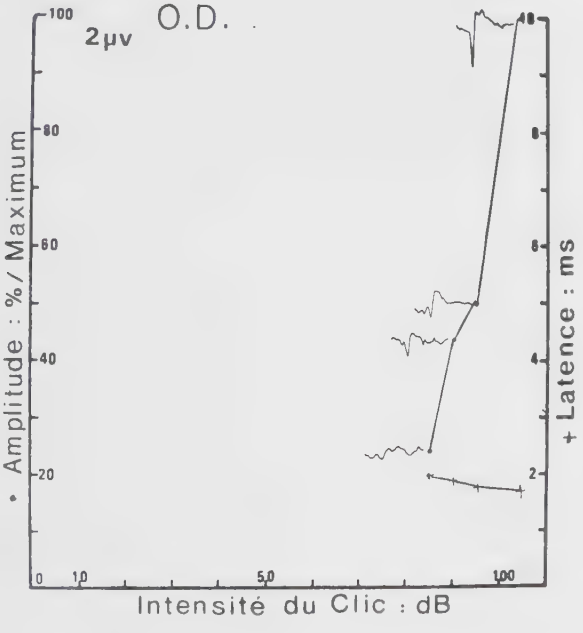


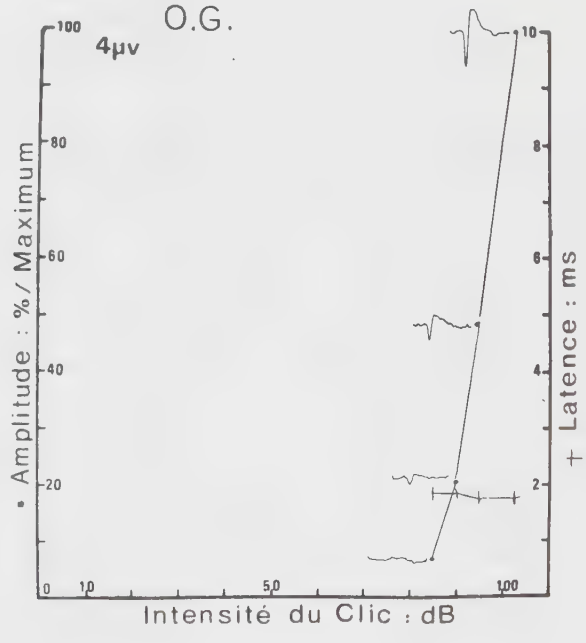
CAS N° 243 : Christophe V..., 3 ans 2 mois

Histoire clinique : *hospitalisé pour otites, doutes sur l'audition. Malformation des pavillons, tympans normaux. Malformation cardiaque très probable. EEG normal.*

Audiométrie : *l'enfant ne présente aucune réaction devant les jouets sonores. Il réagit à l'appel de son nom vers 75-80 dB*

E.Coch.G . : *les seuils sont très élevés pour les deux oreilles et la latence très courte, cependant les réponses sont très nettes, diphasiques au-dessus du seuil.*

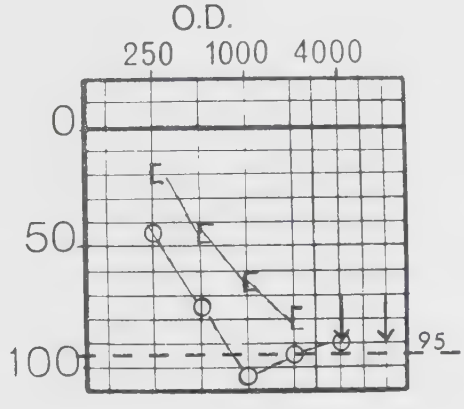


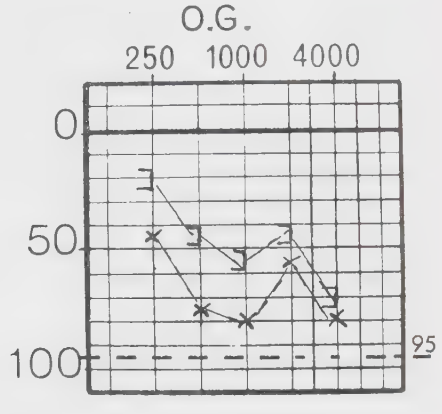


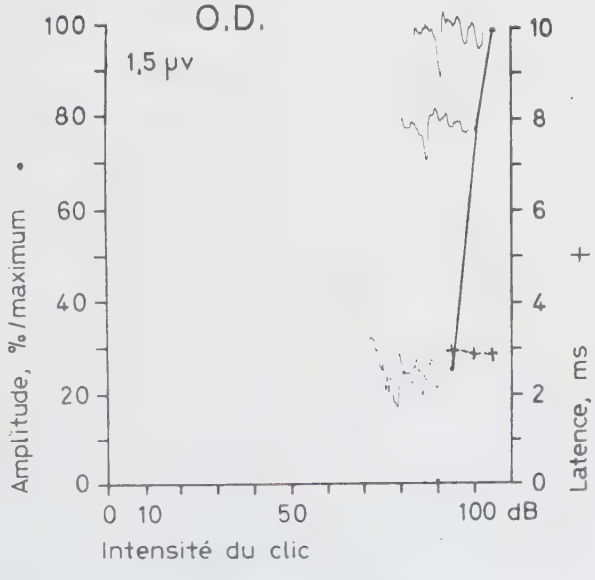
CAS N° 190 : Pierre F..., 22 ans

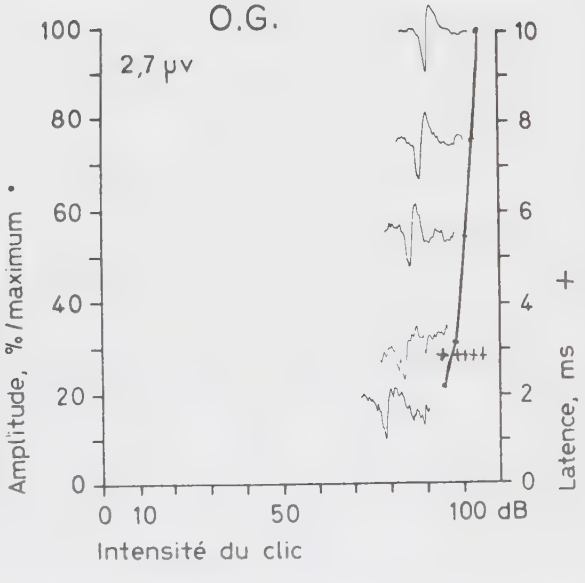
Histoire clinique : *ce jeune homme a eu une méningite à méningocoques pendant son service militaire. L'audition a extrêmement chuté.*

E.Coch.G . : *les seuils des réponses au clic sont très élevés (90 dB) par contre les réponses sont très nettes au-dessus, bien que d'amplitude faible et très diphasiques. La latence est constante, autour de 3 ms environ.*









24.— REPONSES "DISSOCIEES"

Un autre type de réponses, présentant des caractéristiques différentes très précises a été rencontré dans 15 cas et, il faut le souligner, uniquement chez l'adulte.

On note :

- un seuil relativement bon (entre 20 et 40 dB) ;
- une latence au seuil plus longue que normalement (de 6 à 8 msec) ;
- une augmentation très faible de l'amplitude de cette réponse tardive lors de l'augmentation de l'intensité du clic, cela jusque vers 50-70 dB ;
- l'apparition, 20 ou 30 dB au-dessus du seuil, d'une réponse plus précoce, de latence autour de 2 ms, précédant la réponse tardive qui était observée seule aux intensités inférieures ;
- la croissance rapide de cette réponse précoce qui prend le pas sur la réponse tardive laquelle n'est plus en général décelable aux fortes intensités ;
- une forme de la réponse maximale selon les cas diphasique ou monophasique.

  Il semble que l'on se trouve devant deux réponses différentes aux faibles et aux fortes intensités, toutes les deux étant présentes aux niveaux intermédiaires. Cela se traduit sur les courbes entrée-sortie par une courbe de type exponentiel pour l'amplitude et par deux courbes de latence que l'on peut raccorder brutalement dès que le pic précoce est plus négatif que la réponse tardive.

- Par contre si on utilise, au lieu du clic non filtré, un clic filtré aigu (9600 ou 8000 Hz), alors on observe des réponses en tous points comparables à celles obtenues avec le clic non filtré dans les cas "recrutants" précédents : le seuil est élevé (nettement plus que pour le clic non filtré), la latence au seuil est courte, l'augmentation de l'amplitude est rapide, enfin la forme de la réponse est fortement diphasique. Or cela n'est pas le cas avec le clic filtré aigu pour les oreilles normales où les réponses sont comparables à celles obtenues avec le clic non filtré (voir les courbes chez le singe et le cobaye dans la deuxième partie).

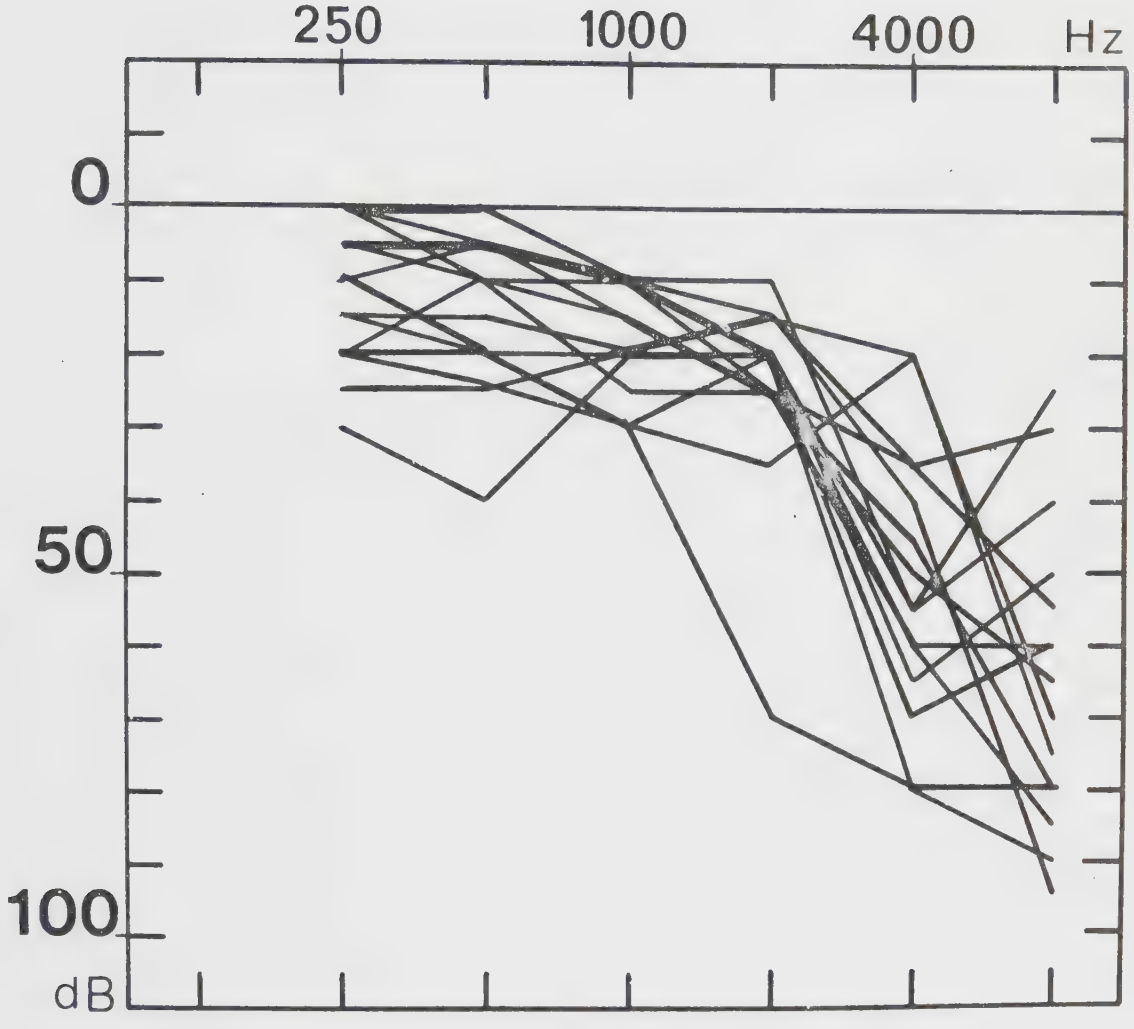


FIG. 40 - Ensemble des audiogrammes des sujets présentant les réponses typiques dissociées.

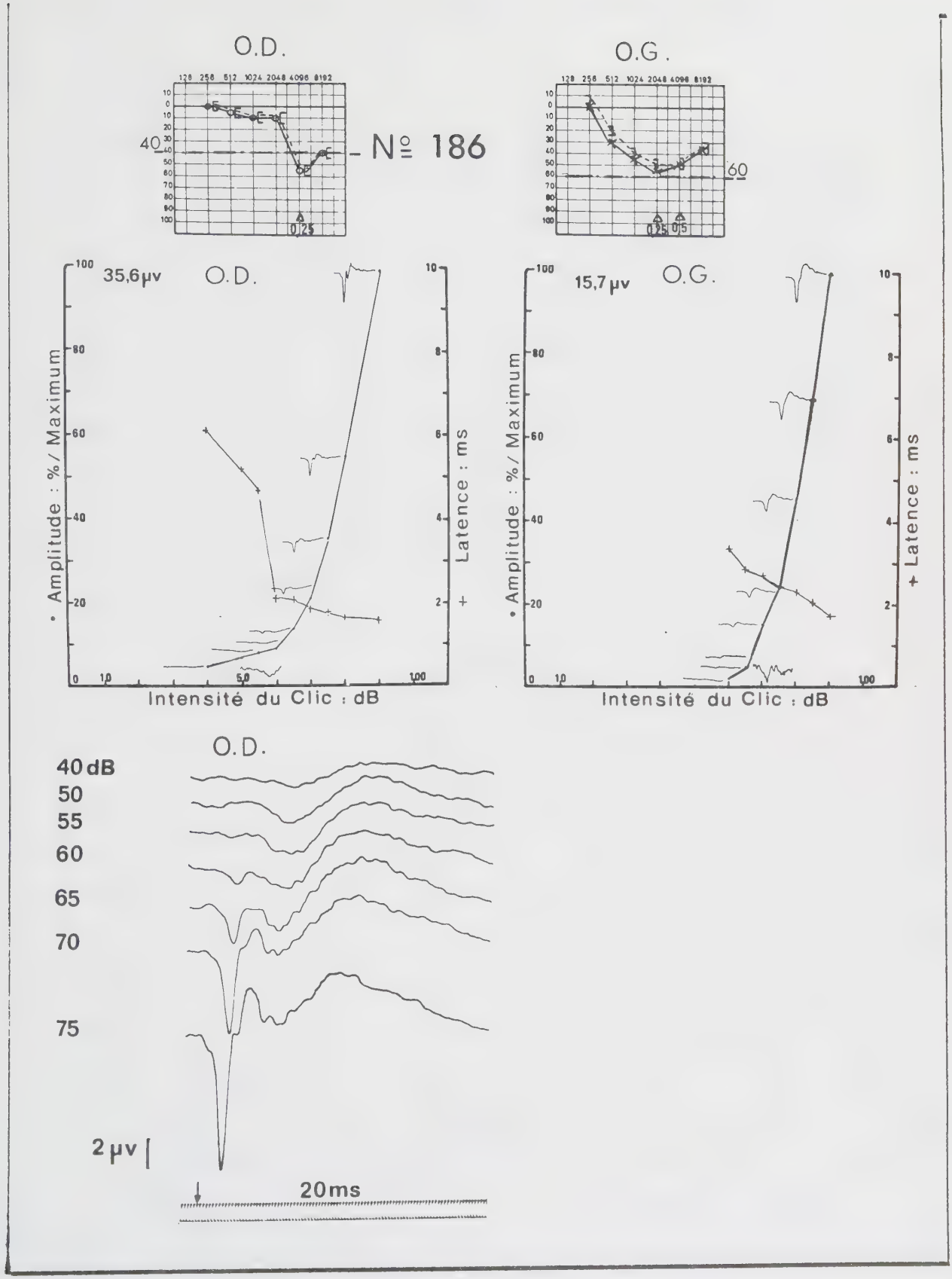
Sur le plan de l'audiométrie, on trouve une surdité localisée sur les aigus, de type surdité professionnelle ou traumatisme sonore. Ainsi, sur la figure 40 où sont rassemblés les audiogrammes de ces 15 cas, on constate que les seuils aux basses fréquences sont bons (au-dessus de 30 dB à 250 Hz) alors qu'à partir de 2000 ou 4000 Hz ils chutent considérablement. Si la moyenne tonale est, pour ces 15 cas, de 34,7 dB (au lieu de 63,3 dB dans les cas "recrutants"), l'écart entre les seuils aux fréquences basses (500 Hz) et hautes (4000 Hz) est ici de 26,1 dB (au lieu de 11 dB dans les cas "recrutants") et la différence entre ces deux groupes "recrutant" et "dissocié" est, sur ce plan, statistiquement significative ($p < 0,05$). Enfin, lorsque le recrutement était mesuré, il n'apparaissait que pour les fréquences aiguës.

Cette distinction entre deux réponses différentes aux faibles et fortes intensités nous a conduit à qualifier les réponses de ce type de "Dissociées".

E X E M P L E S

CAS N° 186 : Yves G..., 34 ans

Histoire clinique : *vertiges aux changements de position. Travaille dans le bruit depuis 8 ans (ajusteur).*
OREILLE DROITE :
Audiométrie : *l'audiogramme montre une chute importante avec recrutement (SISI à 95 %) sur le 4000 Hz, alors que les seuils aux basses fréquences jusqu'au 2000 Hz sont bons.*
E.Coch.G. : *la dissociation entre la réponse tardive et la réponse plus précoce, qui apparait 20 dB au-dessus du seuil, est très nette. L'analyse de ces réponses avec une fenêtre de 20 ms. montre bien l'évolution de ces deux réponses de 40 à 75 dB (Page 83).*
OREILLE GAUCHE :
Audiométrie : *l'audiogramme est ici différent puisque seules les fréquences les plus graves et les plus aiguës sont au-dessus de 30 dB, la perte la plus importante étant de 1000 à 4000 Hz (avec recrutement).*
E.Coch.G. : *on obtient des seuils au clic à 60 dB et au clic filtré 9600 à 30 dB montrant bien la remontée sur les aigus. Bien que la réponse soit diphasique et augmente rapidement, la latence varie progressivement de 3,3 à 1,7 ms. Ce n'est donc ni un cas recrutant ni un cas dissocié typique, autant sur le plan de l'audiogramme que sur celui de l'électro-cochléogramme. Cependant, apparentée à l'un et l'autre type, cette réponse rentre dans la classe des cas moins spécifiques décrits plus loin (§ 27).*

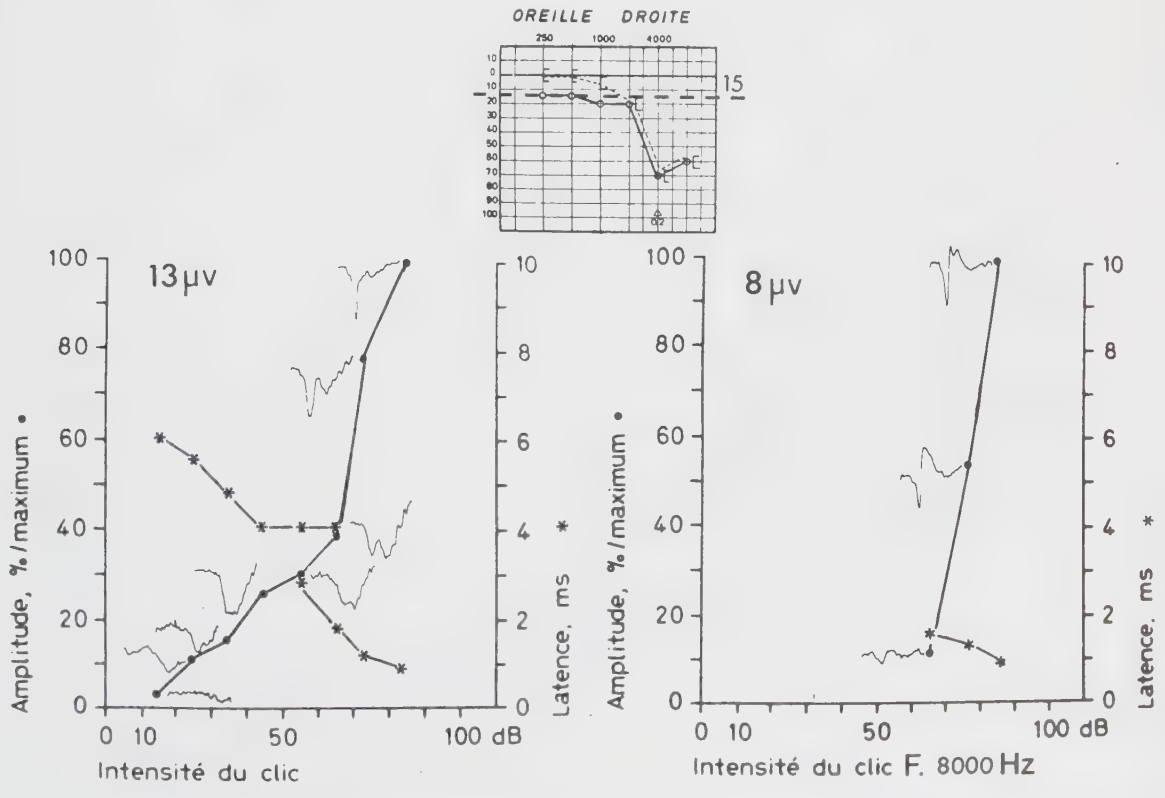

O.D.
O.G.
128 256 512 1024 2048 4096 8192
40
60
0,25
0,5
- Nº 186
35,6µv
O.D.
15,7µv
O.G.
• Amplitude : % / Maximum
+ Latence : ms
Intensité du Clic : dB
40 dB
50
55
60
65
70
75
2 µv
20ms

CAS N° 479 D :

Histoire clinique :

Audiométrie : *pour l'oreille droite on note un audiogramme typique des surdités d'origine professionnelle avec chute prononcée sur le 4000 et le 8000 alors que les graves jusqu'au 2000 sont bons. On observe, au test de Lüscher du recrutement marqué sur le 4000 Hz.*

E.Coch.G . : *le seuil au clic est très bon, les réponses sont très nettement dissociées de part et d'autre de 60 dB, alors que pour le clic filtré 8000 Hz le seuil est élevé, la latence au seuil courte, l'augmentation de l'amplitude de la réponse très rapide et la forme très diphasique. En particulier alors qu'on observe un rebondissement net à 85 dB pour le 8000, il n'y en a pas pour le clic. Les réponses obtenues pour le clic filtré aigu sont ici très comparables à celles obtenues pour le clic non filtré dans les cas "recrutants" précédents. Voir également l'oreille Gauche du Cas n° 226* (§ 25, p. 90)

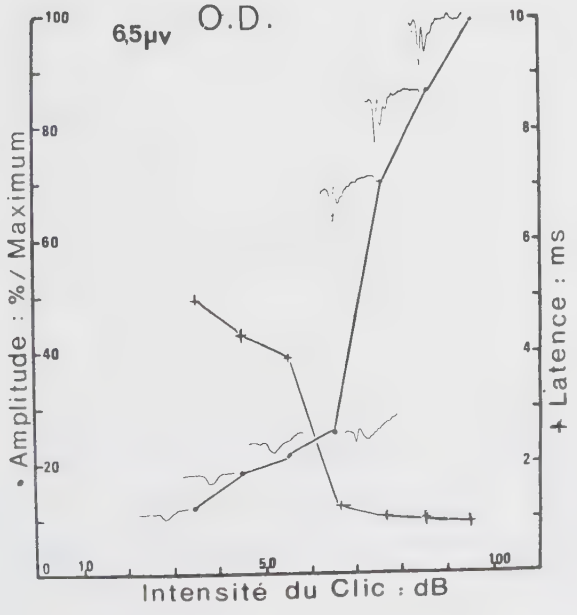


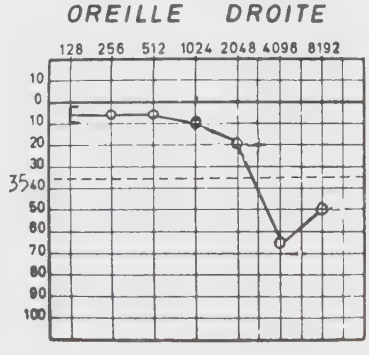
CAS N° 88 D : Fernand T..., 32 ans

Histoire clinique : *le malade présente depuis trois mois un état vertigineux qui s'accompagne de sifflements de l'oreille gauche. On ne trouve dans les antécédents aucun élément notable permettant de rapprocher cette hypoacousie à une étiologie précise.*

Audiométrie : *surdité de réception bilatérale symétrique avec chute sur le 4000 de type surdité professionnelle*

E.Coch.G . : *on note l'apparition d'une réponse précoce vers 30 dB au-dessus du seuil de la réponse tardive. Les seuils aux clics filtrés 9600, 4800, 2400 et 1200 Hz ont été trouvés respectivement à 50 70, 20 et 20 dB, mettant en évidence la chute sur les aigus, le seuil au clic étant à 35 dB.*





CAS N° 210 : Alain B..., 42 ans

Histoire clinique :

Ce malade, opérateur radio dans la marine marchande, présente depuis 6 ans environ une hypoacousie progressive. Dans les antécédents, on ne note que des hypoacousies du côté maternel, laissant supposer une fragilité cochléaire et ce malade travaille dans le bruit.

OREILLE DROITE :

Audiométrie :

L'audiogramme objective une surdité de type professionnel avec chute prononcée seulement sur le 8000. A 4000, les tests du recrutement sont négatifs.

E.Coch.G. :

Le seuil des réponses au clic est bon, mais les réponses sont légèrement dissociées. Le seuil au clic filtré 9600 Hz est à 60 dB. L'écart entre ce seuil et le seuil au clic (25 dB) objective la chute sur les aigus.

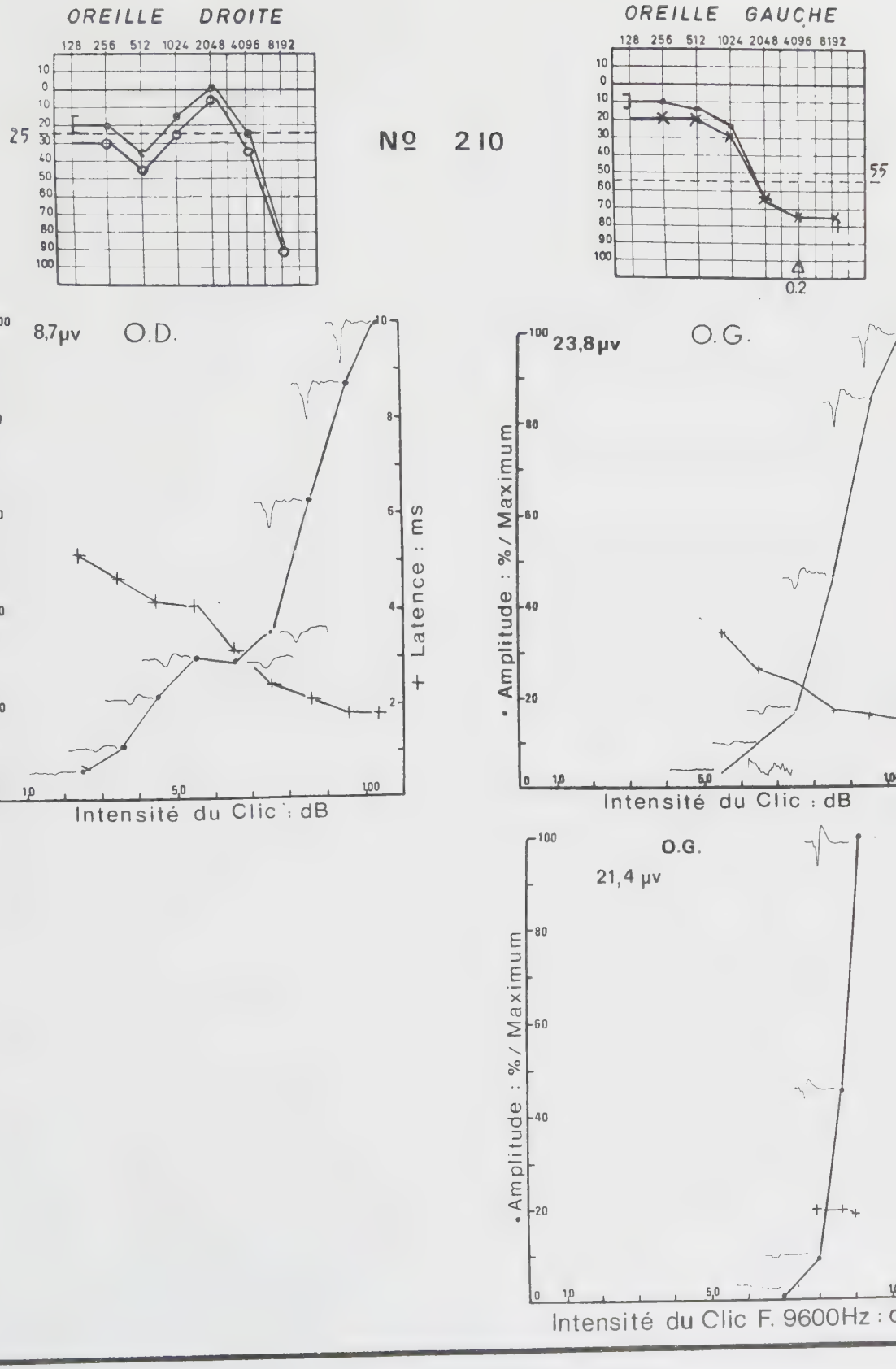
OREILLE GAUCHE :

Audiométrie :

Ici la chute est prononcée dès le 2000 Hz. Les tests de recrutement sont positifs sur le 2000 et le 4000 Hz.

E.Coch.G. :

Le seuil au clic, 55 dB, est beaucoup moins bon que pour l'autre oreille. Ces réponses peuvent être cependant classées dans les "dissociés" si on considère le seuil à 9600 Hz qui est trouvé à 80 dB. Les réponses à ce clic filtré sont elles très nettement recrutantes.


OREILLE DROITE
128 256 512 1024 2048 4096 8192
25
Nº 210
OREILLE GAUCHE
128 256 512 1024 2048 4096 8192
55
0.2
8,7µv O.D.
• Amplitude : % / Maximum
+ Latence : ms
Intensité du Clic : dB
23,8µv O.G.
• Amplitude : % / Maximum
+ Latence : ms
Intensité du Clic : dB
O.G.
21,4 µv
• Amplitude : % / Maximum
+ Latence : ms
Intensité du Clic F. 9600Hz : dB

25.— LES REPONSES LARGES

Ce sont les réponses, observées dans 35 oreilles, plus souvent chez l'adulte (30) que chez l'enfant (5), dont les caractères communs sont :

— la présence d'un pic négatif nettement décelable (c'est à dire dans sa partie la plus négative, il est relativement aigu) ;

— mais une largeur de ce pic à mi-hauteur (mesurée sur la réponse maximum au clic non filtré) (Fig. 35) nettement plus grande que dans les cas décrits précédemment où elle ne dépasse pas 0,9 msec (page 63). Ici elle va de 1,4 msec à 3,9 msec et est en moyenne de 2,4 msec (σ = 0,8).

Ces 35 cas n'étant réunis que par ces seuls caractères, il faut souligner en outre que :

— les variations de l'amplitude et de la latence en fonction de l'intensité du clic se font comme dans les cas décrits plus haut "recrutants" et "dissociés" et l'on peut établir de la même manière une certaine corrélation entre la forme de l'audiogramme et celle des courbes entrée-sortie dans 60 % des cas, mais on ne la retrouve pas dans 30 % des cas.

— du fait de la largeur du pic il n'y a en général pas de rebondissement positif après le pic négatif (celui-ci n'est présent, faible et tardif que dans 7 cas pour lesquels la largeur en outre n'est pas très prononcée puisqu'elle ne dépasse pas 2 msec).

— dans certains cas, on observe, avant le pic N1, un petit pic positif précoce, sans latence par rapport à la stimulation sonore.

— dans ces cas-là, comme dans d'autres, un pic positif précoce important apparait lorsqu'on utilise un clic filtré aigu ; mais n'ayant pas systématiquement observé dans tous les cas les réponses au clic filtré aigu, on ne peut préciser davantage les circonstances de l'apparition de ce pic, mais on peut dire que l'on ne l'observe pas dans les réponses normales ou "recrutantes" et "dissociées" typiques.

Sur le plan audiométrique on ne peut souligner rien de particulier les surdités allant de moyenne à profonde avec ou non chute plus prononcée sur les aigus.

En audiométrie supra-liminaire, on note éventuellement du recrutement et très souvent une mauvaise discrimination du langage.

Sur le plan clinique on peut noter : des syndromes ménièriformes (maladie de Ménière vraie, vertiges, bourdonnements, acouphènes), des atteintes typiquement rétro-labyrinthiques (neurinomes), des troubles d'origine vasculaire bien établie.

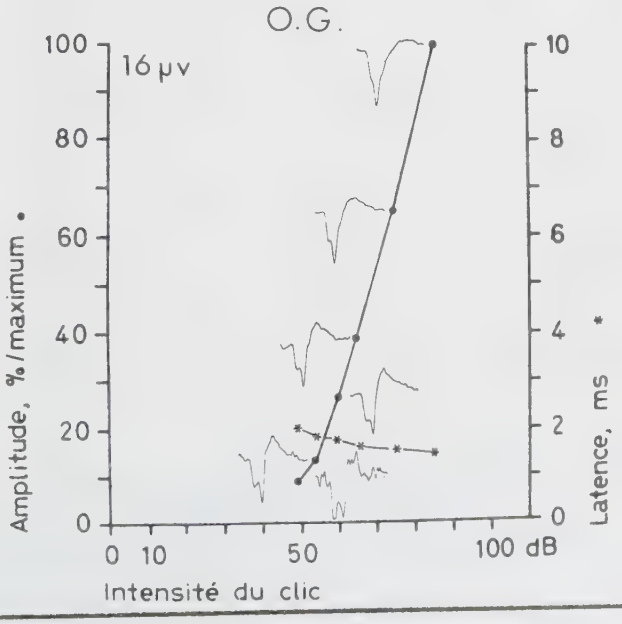
E X E M P L E S

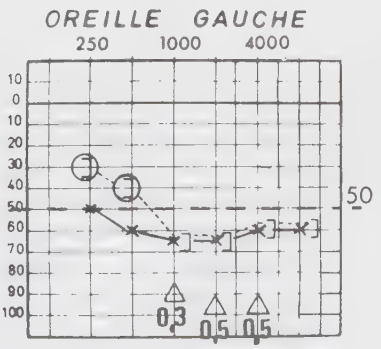
CAS N° 371 G : Jean G..., 52 ans

Histoire clinique : *ce malade présente des symptomes de maladie de Ménière : vertiges par crises avec vomissements depuis 4 ans, sifflements dans l'oreille gauche depuis 6 ans.*

Audiométrie : *celle-ci confirme le diagnostic de maladie de Ménière. L'audiogramme est aux alentours de 60 dB et on mesure du recrutement sur le 1000, 2000 et 4000 Hz au SISI et au Lüscher, ainsi que sur le 4000 Hz au Fowler.*

E.Coch.G . : *les réponses présentent toutes les caractéristiques des réponses recrutantes, à l'exception de la forme de la réponse qui est ici relativement large à toutes les intensités et le rebondissement est très faible.*





CAS N° 226 : Paul J..., 58 ans

Histoire clinique : *le malade souffre, depuis quelques mois, à la suite d'un syndrome grippal, de crises vertigineuses s'accompagnant de quelques acouphènes et d'un nystagmus. Il a subi, à l'âge de 22 ans une mastoïdectomie droite.*

OREILLE GAUCHE :

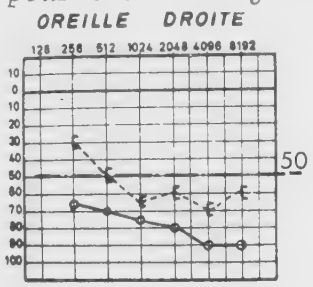
Audiométrie : *surdité de réception avec chute sur les aigus.*

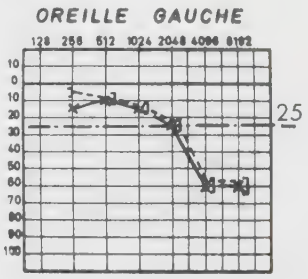
E.Coch.G. : *réponses typiques dissociées.*

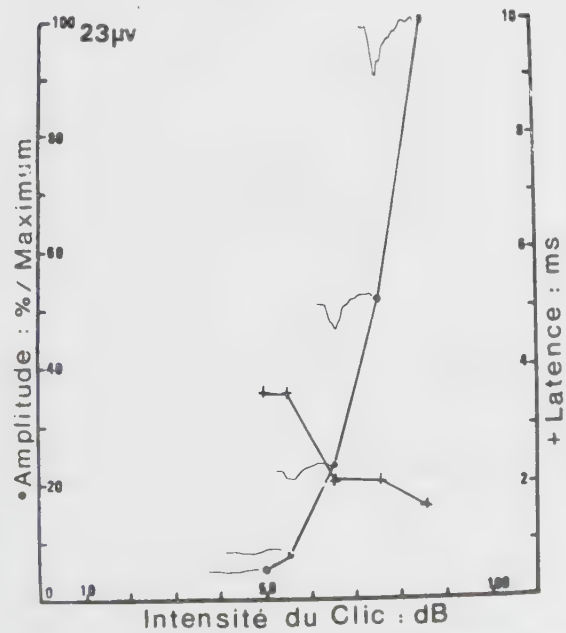
OREILLE DROITE :

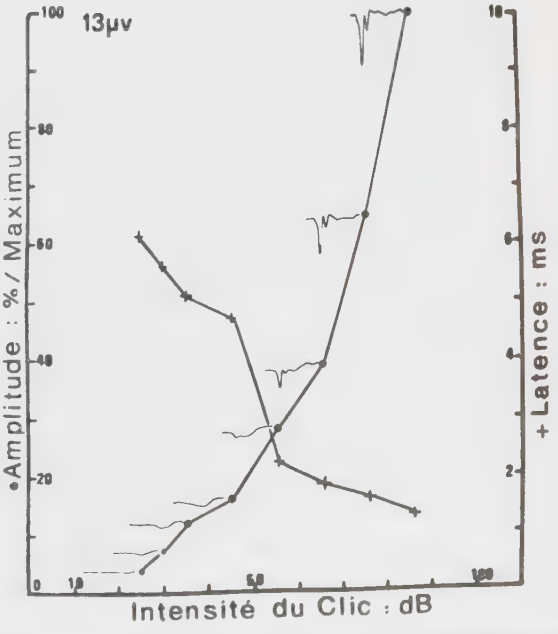
Audiométrie : *surdité mixte avec une voie osseuse entre 30 et 70 dB. Les tests supraliminaires montrent l'absence de recrutement et les tests de fatigue sont positifs. Ces résultats sont en faveur d'une atteinte rétro-labyrinthique.*

E.Coch.G. : *les réponses sont légèrement dissociées et surtout très élargies. Elles sont très nettes puisque l'amplitude maximale est de 23 µV, alors que pour l'oreille gauche elle est de 13 µV.*







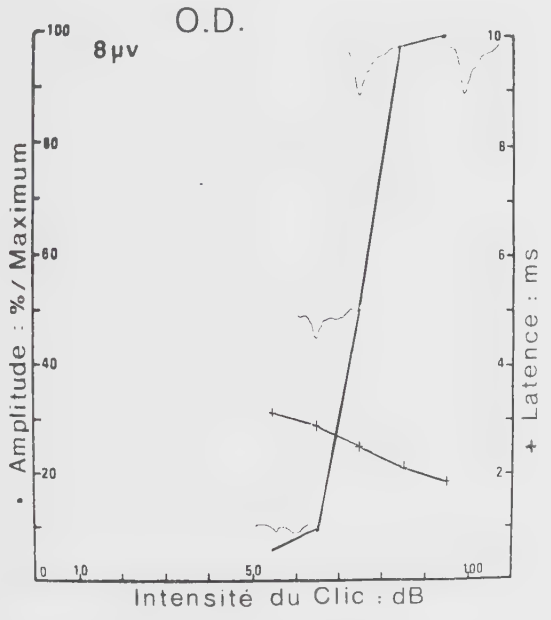


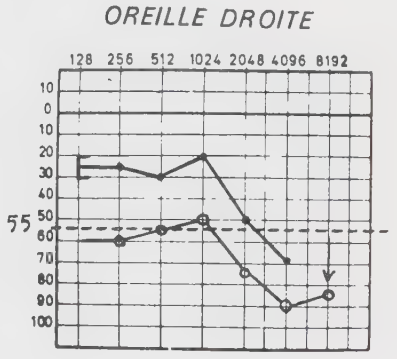
CAS N° 169 D : José M..., 57 ans

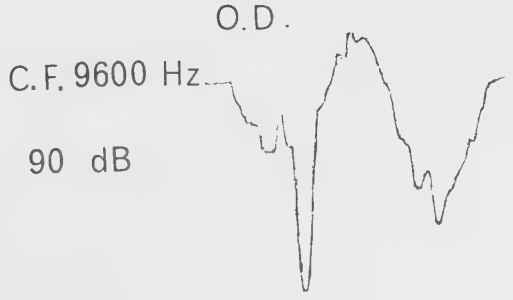
Histoire clinique : *sensations vertigineuses depuis plusieurs années ; hypoacousie droite plus récente s'accompagnant d'acouphènes ; céphalées ; le bilan radio-clinique fait évoquer une étiologie vasculaire.*

Audiométrie : *l'audiogramme objective une surdité mixte avec chute sur les aigus. Noter que les graves, jusqu'à 1000 Hz sont, en conduction osseuse, au-dessus de 30 dB.*

E.Coch.G . : *on observe très nettement, près du seuil deux réponses (donc type dissocié) et, à 85 et 95 dB des réponses élargies. Par contre la réponse au 9600 est aiguë.*





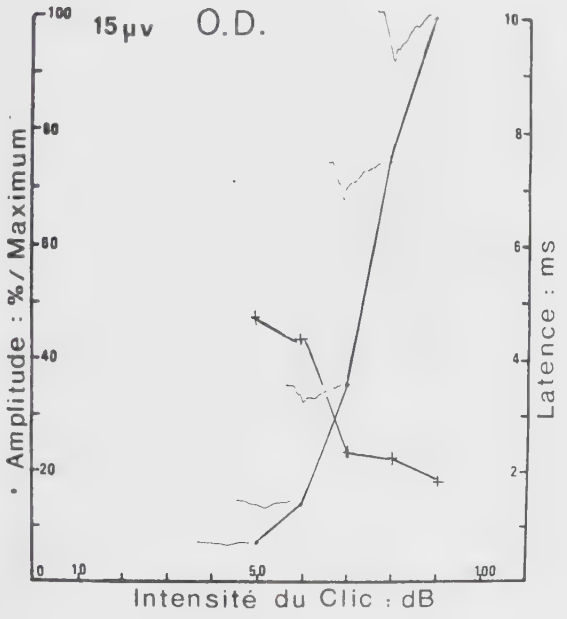


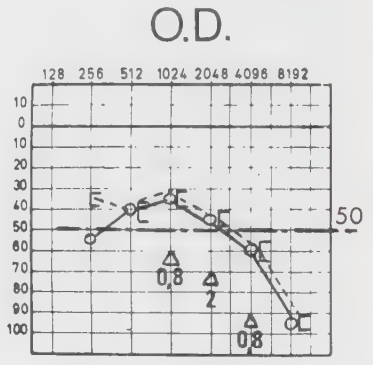
CAS N° 185 D : Guy B..., 50 ans

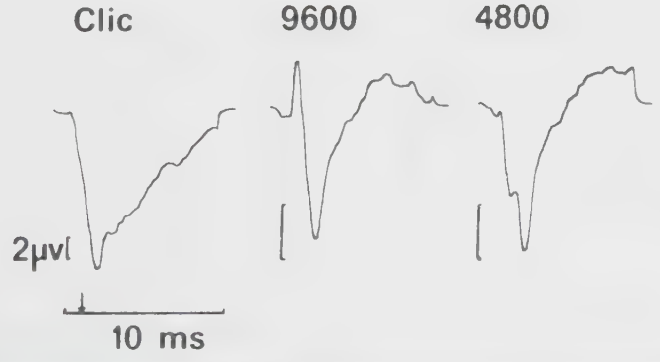
Histoire clinique : *accident vasculaire, hémiplégie, vertiges, surdité, pas d'acouphènes.*

Audiométrie : *surdité de réception. Les tests supra-liminaires montrent l'absence de recrutement, les tests de fatigue sont positifs, il y aurait donc atteinte rétro-labyrinthique.*

E.Coch.G . : *les réponses semblent dissociées aux faibles intensités, très larges aux fortes intensités. En réponse au clic filtré 9600 Hz on observe un pic positif précoce important alors qu'au clic filtré 4800 Hz c'est une déflexion négative brutale qui apparait avant la réponse nerveuse relativement large, mais moins large que pour le clic non filtré.*





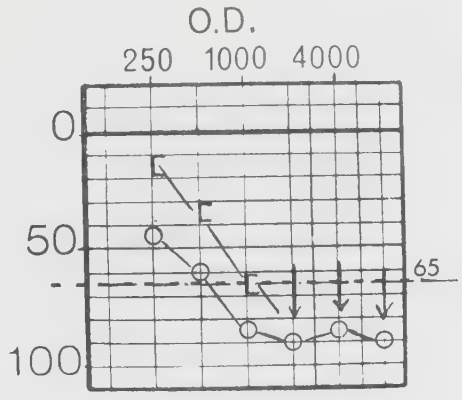


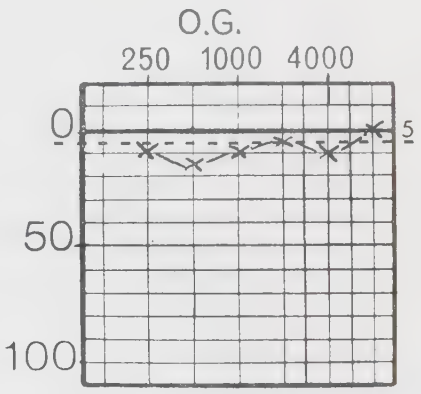
CAS N° 213 : Pierre P..., 40 ans

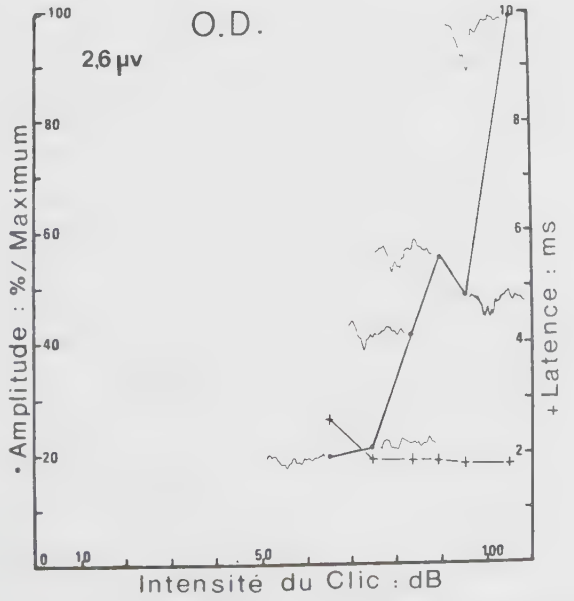
Histoire clinique : *l'ensemble des examens otologiques montre un neurinome du VIII droit confirmé lors de l'intervention oto-neuro-chirurgicale.*

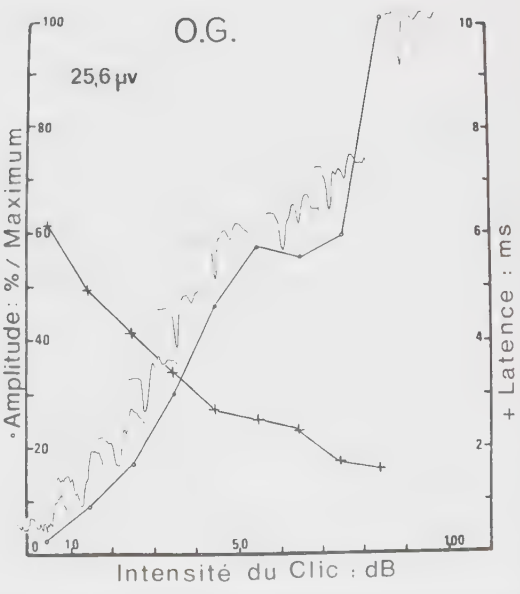
Audiométrie : *l'oreille gauche est normale, alors qu'à droite la surdité est profonde. Les tests de fatigue sont positifs pour l'oreille droite.*

E.Coch.G . : *l'oreille gauche présente toutes les caractéristiques d'une oreille normale, alors qu'à droite les réponses sont très faibles, malgré le seuil trouvé à 65 dB de latence courte et nettement élargies.*









26.— REPONSES "ANORMALES"

Enfin, dans une dernière catégorie on a groupé les 29 réponses dans lesquelles il est difficile de déceler un signal comparable à un potentiel d'action caractérisé par un pic négatif clair, même plus ou moins large. A part 5 cas particuliers décrits plus loin (§ 262), dans tous les autres cas on observe un type de réponses bien défini.

261.—Réponses Anormales Type

Dans 22 oreilles, dont 13 chez 7 "enfants" et 9 chez 6 "adultes", on observe, en réponse au clic non filtré, à toutes les intensités, depuis le seuil, un signal qui se présente sous la forme d'un pic positif précoce important suivi d'une déflexion lente négative. En outre, en réponse au clic filtré aigu, les pics positifs sont très prononcés.

Les surdités sont souvent profondes, parfois moyennes et le caractère constant est la très mauvaise intelligibilité du langage. Les seuils des réponses sont en accord avec les seuils audiométriques.

On note cliniquement, lorsque les diagnostics peuvent être bien établis : des cas d'ictère nucléaire (par incompatibilité sanguine fæto-maternelle, enfants rhésus), des troubles vasculaires, enfin des cas d'atteintes rétro-labyrinthiques.

A ces 22 réponses, on peut rajouter deux réponses d'un type légèrement différent, mais qui semble de même nature, c'est en réponse au clic, une déflexion brutale négative qui se prolonge au-delà des 9 msec suivantes de la fenêtre, et en réponse au clic filtré aigu une réponse plus proche de celles décrites pour les 22 oreilles. Ce sont les cas n° 237 et 259.

CAS N° 104 D : Monique J..., 25 ans

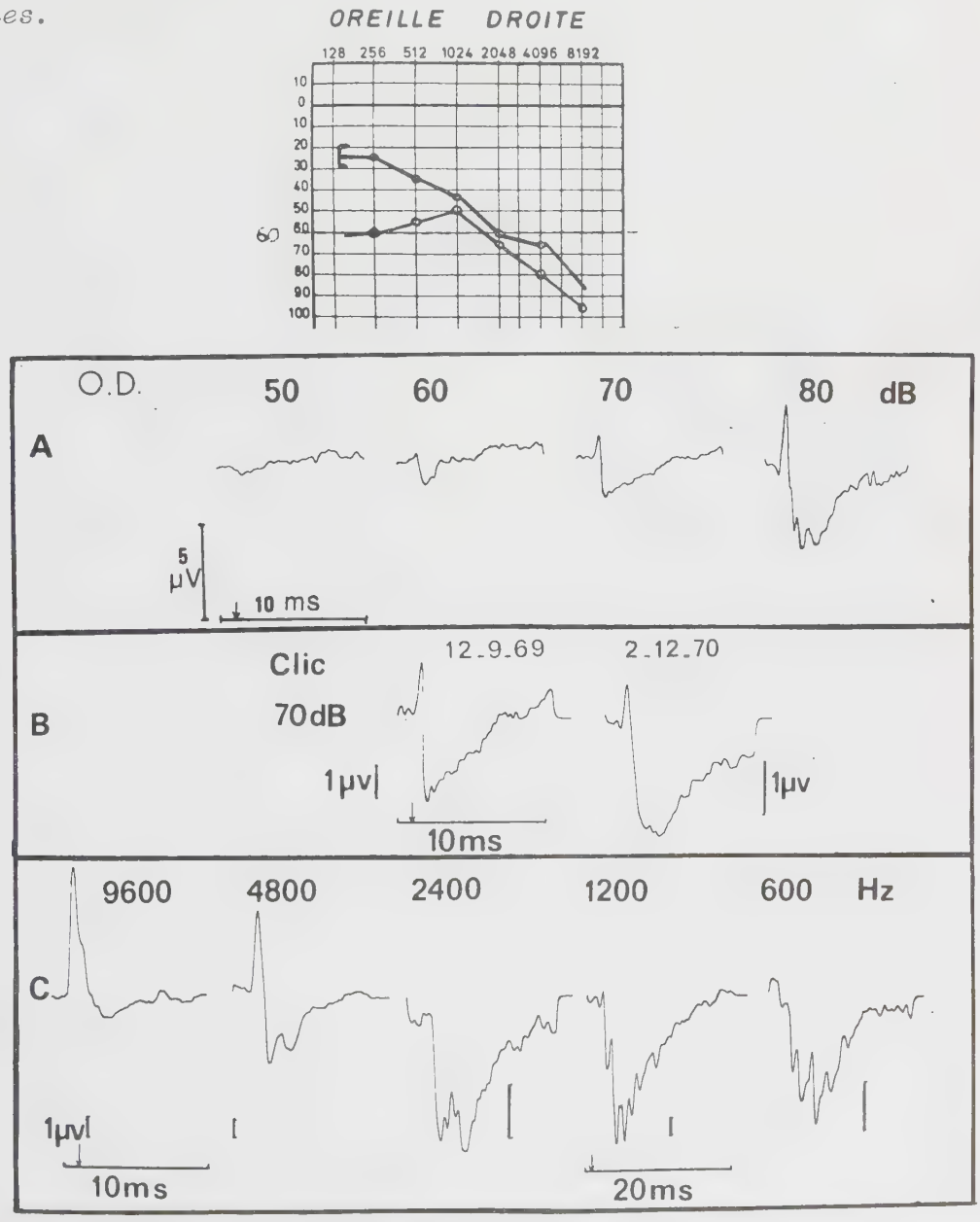
Histoire clinique : *cette malade vient consulter pour un syndrome acoustico-facial droit. L'histoire débute à l'âge de 14 ans par un hémispasme facial droit. Deux ans plus tard, celui-ci se double d'un début de paralysie faciale du même côté. Aucun diagnostic étiologique n'est porté. D'abord incomplète, l'atteinte de la VIIème paire se précise progressivement et une surdité de réception commence à se manifester 3 ans après. Enfin, après un laps de temps de 6 à 7 ans apparaissent des crises de vertiges. Elle présente alors un syndrome vestibulaire de déficit discret du côté droit, l'otoscopie est normale. La paralysie faciale est complète.*

Audiométrie : *alors que l'oreille gauche est strictement normale, avec un seuil d'intelligibilité à 10 dB, l'oreille droite présente une surdité de réception avec chute progressive sur les fréquences aiguës. Il y a un léger Rinne négatif surajouté au niveau des fréquences basses indépendant de la lésion. Les tests de recrutement sont négatifs. On note que le test de Fowler est difficile à pratiquer, la malade se plaignant de diplacousie et ne pouvant pas comparer les intensités de deux sons différents. Il n'y a pas de fatigabilité, mais on note que la discrimination est très pauvre, et ce dernier facteur est évocateur d'une atteinte rétro-labyrinthique.*

Radiographies : *elles montrent un élargissement en forme d'olive du conduit auditif interne ainsi qu'un élargissement de la première portion du canal de Fallope. Le liquide opaque de cisternographie ne peut pénétrer dans le conduit auditif interne, mais ne révèle aucune masse dans l'angle ponto-cérébelleux. Le diagnostic de neurinome du nerf facial est porté, confirmé par l'exérèse de la tumeur par la voie de la fosse cérébrale moyenne.*

E.Coch.G . : *l'examen électro-cochléographique a été réalisé une première fois avant l'intervention* (A) *et a montré des réponses anormales caractéristiques, constituées du pic positif précoce et de l'onde lente négative. Le seuil de ces réponses a été trouvé à 60 dB, niveau qui correspond au niveau moyen de l'audiogramme. Après l'intervention chirurgicale, 15 mois plus tard, un nouvel examen a été effectué* (B et C). *On a obtenu des réponses pratiquement identi-*

ques (B). *On a également pu observer les réponses aux différents clics filtrés à 80 dB* (C). *On note l'importance du pic positif précoce à 9600 Hz, ainsi qu'à 4800 Hz, alors que pour les autres clics filtrés, on observe au contraire une déflexion rapide négative.*
Il ne semble pas que les réponses soient différentes après la décompression du nerf auditif par l'ablation de la tumeur du VII et les images obtenues semblent donc représentatives de lésions bien établies.

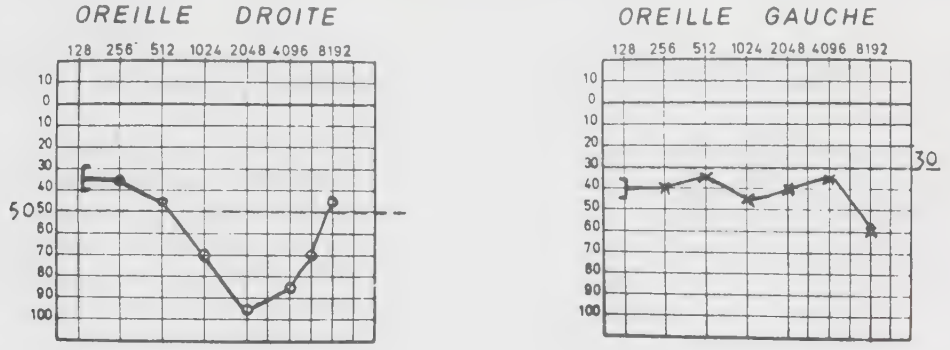


CAS N° 148 : Jean-Marc V..., 6 ans et demi

Histoire clinique : *grossesse et naissance normales. A 5 mois et demi, petites crises convulsives avec, pendant 2 mois, syndrome neurologique de West. L'EEG est actuellement normal.*

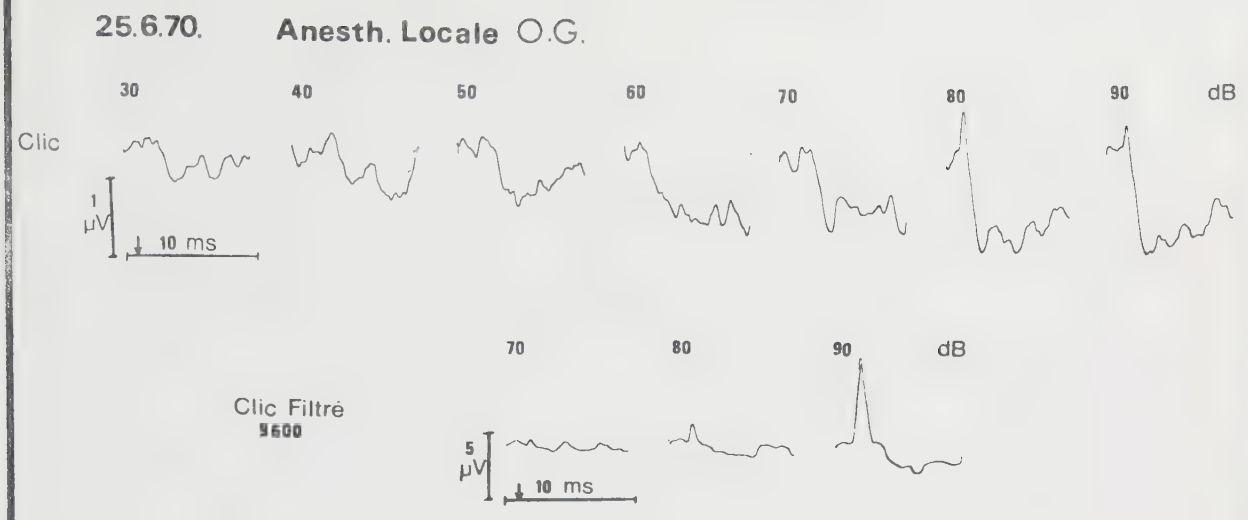
Audiométrie : *malgré un audiogramme qui, tout au moins à gauche, pouvait laisser espérer une rééducation facile et également un Q.I. normal, cet enfant, en centre de rééducation pendant plus d'un an n'a pu apprendre que 10 nouveaux mots environ.*

E.Coch.G. : *Cet enfant a été testé une première fois sous anesthésie générale. On a enregistré, pour les deux oreilles, des réponses "anormales" type. Devant le caractère particulier de ces réponses que nous observions depuis peu de temps, nous avons réalisé quatre mois plus tard un nouvel examen de l'oreille gauche sous simple anesthésie locale. Les réponses obtenues sont comparables et, malgré leur faible amplitude, on a pu déterminer un seuil à 30 dB. En réponse au clic filtré aigu (9600 Hz), on a obtenu un seuil plus élevé (60 dB) et un pic positif précoce très important par rapport à l'onde lente négative d'une part et par rapport aux réponses au clic non filtré d'autre part.*



12.2.70

Anesth. Géné.

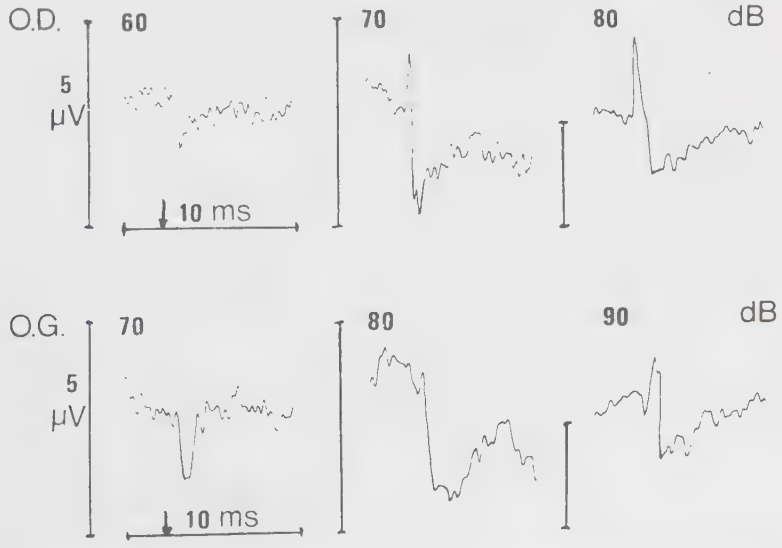


CAS N° 111 : François L..., 6 ans

Histoire clinique : *incompatibilité fæto-maternelle par facteur Rhésus avec ictère nucléaire ; incoordination motrice très importante ; instabilité, très gros retard de langage.*

Audiométrie : *conditionnement impossible. Réactions aux intensités moyennes.*

E.Coch.G . : *l'enfant a été testé sous anesthésie générale et on a obtenu, pour les deux oreilles, des seuils élevés et des formes anormales.*

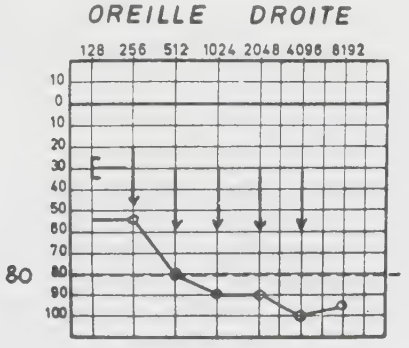


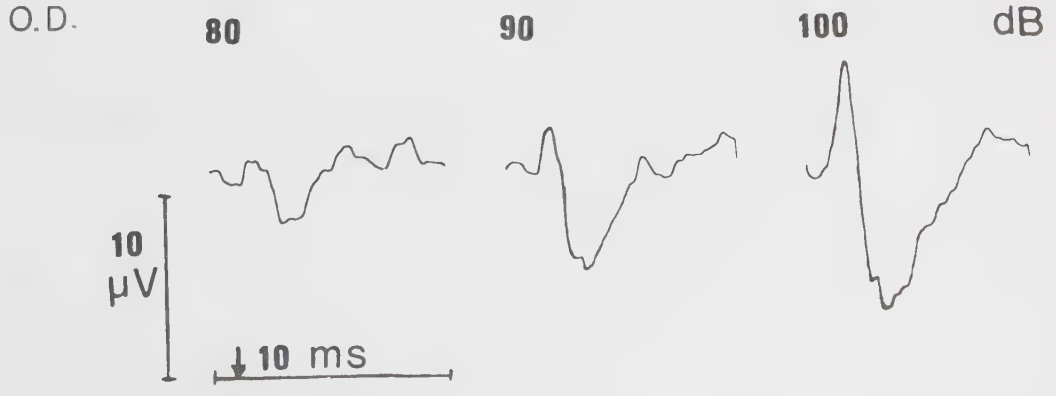
CAS N° 173 : Roger S..., 30 ans

Histoire clinique : *pas de vertiges, mais acouphènes importants ; aggravation progressive modifiée par les mouvements de la tête et les hyperflexions cervicales laissant supposer une pathologie vasculaire par compression des artères vertébrales. 5 ans auparavant ce malade a subi une incussectomie décomprimant l'artère vertébrale droite, suivie d'une amélioration de l'audiogramme qui se situe alors à 10 dB de la normale. Le côté gauche, non opéré, s'aggrave progressivement. Depuis, l'audition de l'oreille droite se détériore nécessitant plus tard l'adaptation d'une prothèse auditive. EEG : ondes θ; tracé anormal bilatéral depuis 8 ans. Tracé électro-nystagmographique plat.*

Audiométrie : *surdité de réception profonde à droite, surdité totale à gauche.*

E.Coch.G . : *oreille droite : seuil à 80 dB, réponses anormales constituées du pic positif précoce et de l'onde lente négative.*





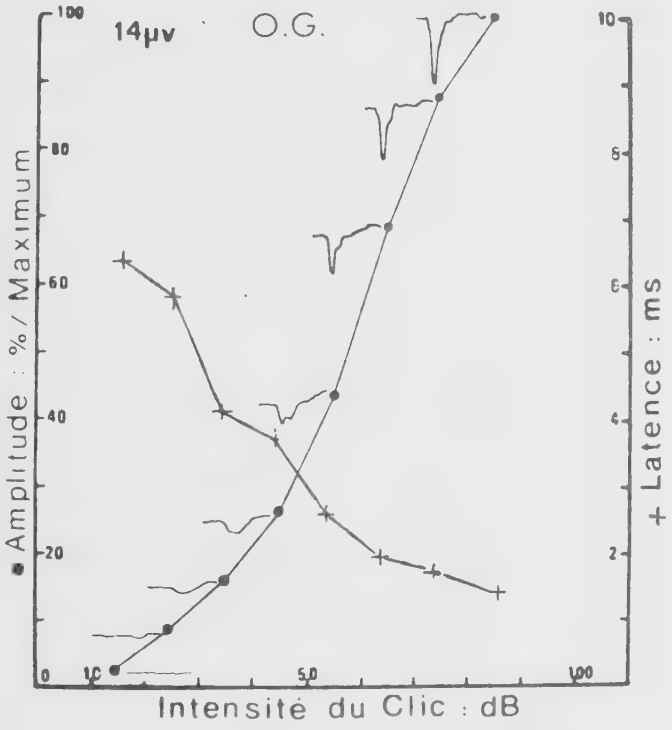
CAS N° 237 : Louise L..., 63 ans

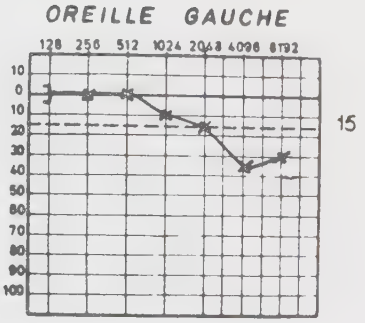
Histoire clinique : *cette malade présente depuis un an des troubles de l'équilibre avec des sifflements de l'oreille droite. Elle a été récemment opérée d'une tumeur au cervelet qui a laissé pour séquelles une paralysie faciale droite et une baisse importante de l'audition à droite.*

OREILLE GAUCHE :

Audiométrie : *légère surdité de réception sur les aigus normale compte tenu de l'âge de la malade.*

E.Coch.G . : *les réponses sont très nettes depuis le seuil à 15 dB de type légèrement dissocié.*

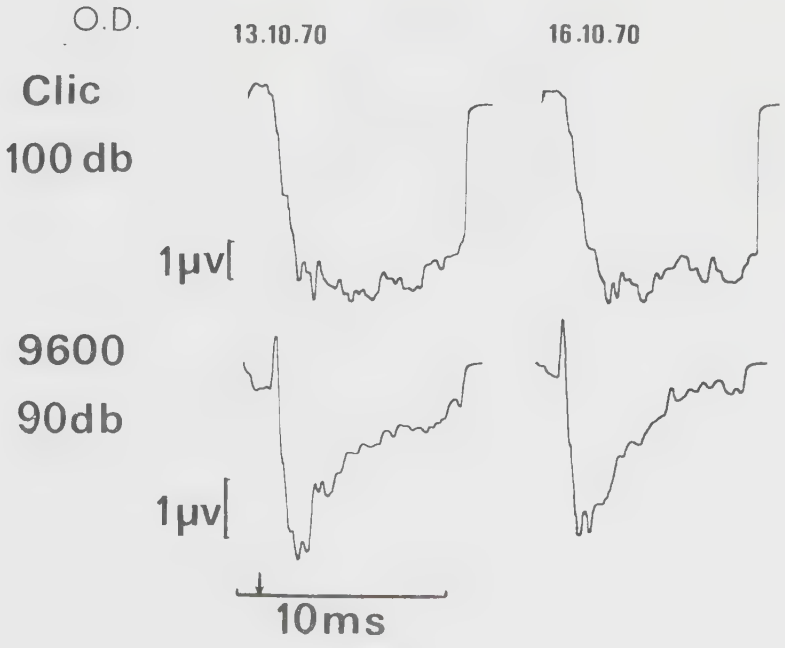




OREILLE DROITE :

Audiométrie : *surdité totale.*

E.Coch.G . : *malgré la surdité totale, on observe des réponses au clic avec un seuil à 60 dB. Cependant ces réponses sont très particulières : on observe une déflexion brutale négative dès l'arrivée de la stimulation sonore et qui se prolonge au-delà de la durée de la fenêtre. En réponse au clic filtré aigu (9600 Hz), on observe un pic positif précoce et une onde lente négative, comme dans les cas décrits plus haut pour le clic non filtré. Etant donné la nature très étrange de ces réponses, un second examen a été effectué trois jours plus tard et on a obtenu des réponses absolument identiques.*

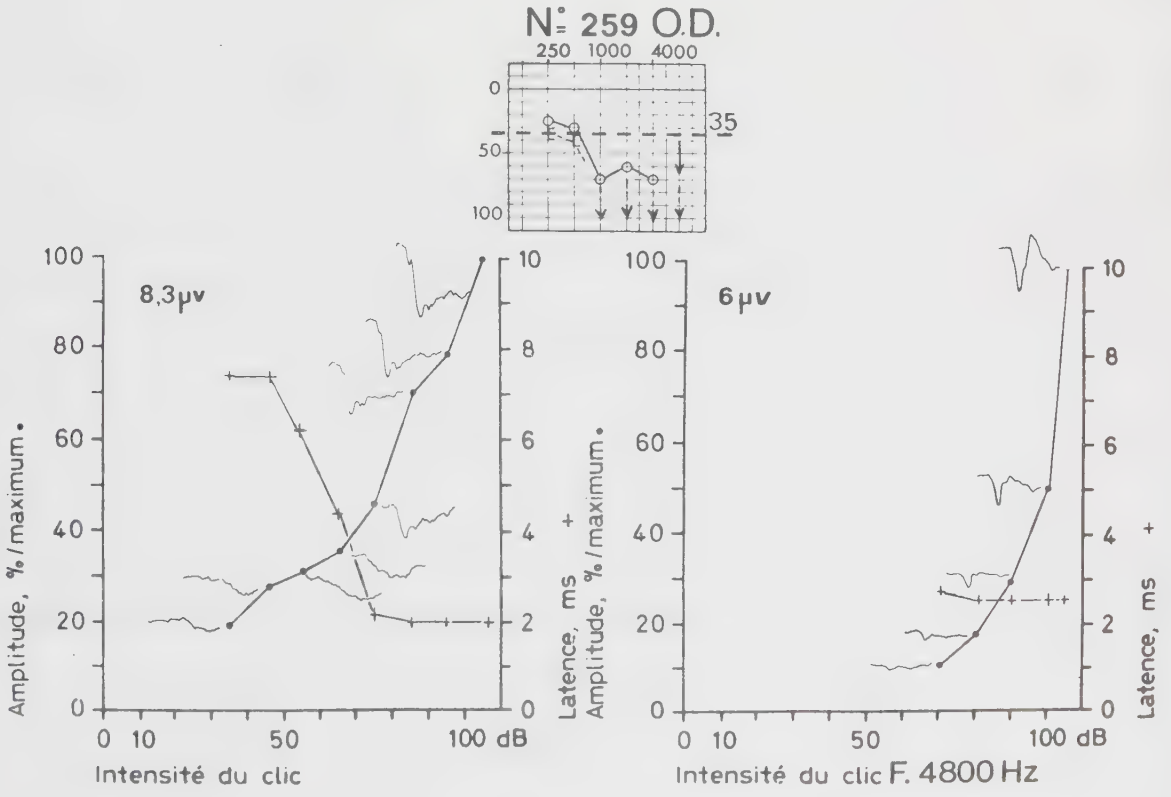


CAS N° 259 : Jacqueline M..., 43 ans

Histoire clinique : *atteinte centrale brutale deux ans auparavant avec hémiplégie droite et paralysie faciale droite. Actuellement acouphènes, vertiges, hypoacousie de réception.*

Audiométrie : *surdité de réception importante à partir de 1000 Hz, les tests de recrutement sont négatifs et donc en faveur d'une atteinte rétro-labyrinthique.*

E.Coch.G. : *ici aussi on obtient, en réponse au clic non filtré, des réponses très larges comme dans le cas précédent, avec un seuil à 35 dB. Il faut utiliser une fenêtre plus large (30 msec) pour voir la trace revenir au zéro. En réponse au clic filtré aigu on observe une réponse moins large et sans pic positif important. En dehors de la forme des réponses, remarquer le caractère dissocié des courbes pour le clic et le caractère recrutant pour le 4800 Hz (cf Cas dissocié typique n° 479, page 84).*



262.— Cas particuliers

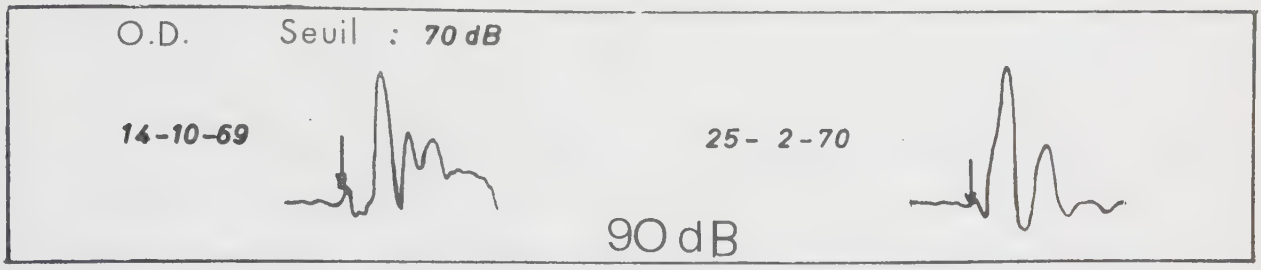
Dans 5 cas, on a observé des réponses qui ne ressemblent en rien aux réponses décrites jusqu'à présent. Dans tous les cas, sauf 1, rien, dans les antécédents, ne permet de rattacher la surdité (toujours profonde) à une étiologie précise.

E X E M P L E S

CAS N° 115 : Xavier D..., 7 ans et demi

Cet enfant présente un très gros retard de langage en rapport avec la surdité profonde bilatérale.

E.Coch.G . : *Pour l'oreille droite, on observe des réponses depuis le seuil à 70 dB, mais très déformées. Cependant l'examen ayant été refait 3 mois plus tard, on a obtenu exactement la même forme de réponse.*



CAS N° 117 : Joel P..., 21 mois

On note dans les antécédents une rubéole de la mère dans les premiers mois de la grossesse.

Cet enfant présente un bon niveau psycho-moteur et réagit aux sons forts vers 90 dB.

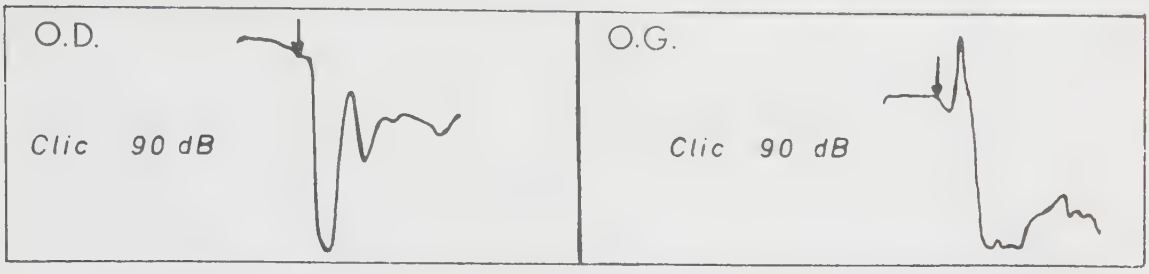
E.Coch.G . : *alors qu'à gauche on obtient des réponses du type recrutant avec un seuil à 80 dB, on observe à droite une réponse seulement à 100 dB, constituée d'un pic positif de latence 2 ms .*

CAS N° 122 : Thierry D..., 3 ans 3 mois

On ne note rien dans les antécédents. L'enfant présente une instabilité psycho-motrice et un nystagmus spontané.

Il réagit aux sons d'intensité moyenne.

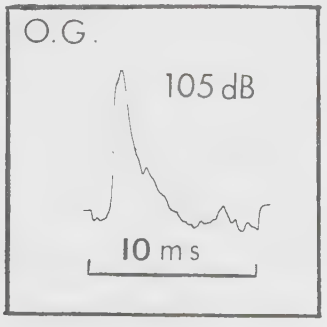
E.Coch.G . : *à gauche on observe des réponses anormales typiques avec un seuil à 50 dB. A droite on observe, à partir de 60 dB, un pic négatif mais de latence très courte indiquant qu'il s'agit d'une réponse sensorielle plutôt que nerveuse.*



CAS N° 253 : Eric D..., 2 ans

On ne note rien dans les antécédents. L'enfant ne parle pas, réagit aux intensités de 75-80 dB;

E.Coch.G . : *à droite on n'observe aucune réponse au clic à 105 dB. A gauche on observe, à partir de 75 dB des réponses constituées uniquement d'un pic positif de latence très courte.*



CAS N° 114 : Françoise D..., 27 ans.

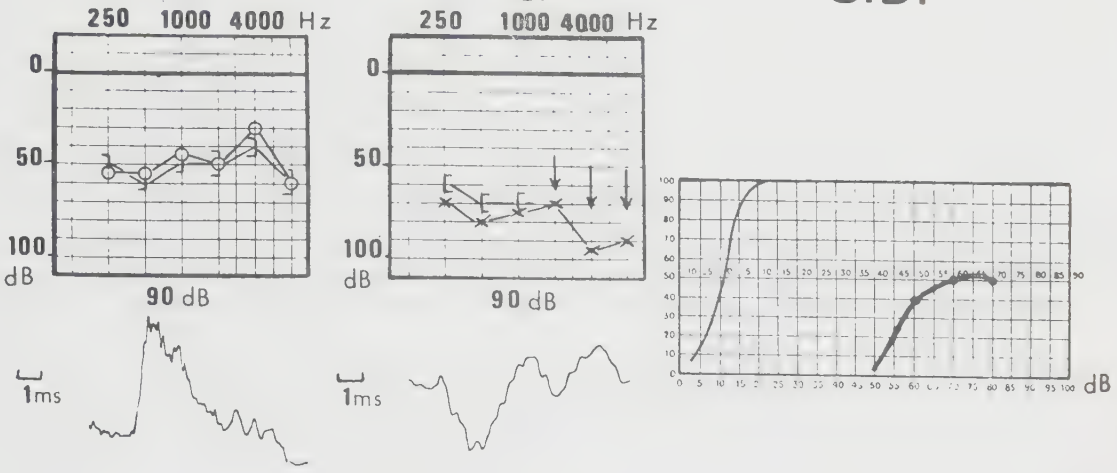
Histoire clinique : *cette malade, suivie depuis plus de 10 ans, présente une surdité profonde à gauche et, à droite, une surdité qui, si l'on en croyait le seul audiogramme tonal, serait une demi-surdité qu'un appareillage convenable pourrait compenser. Cependant, dès les premiers examens, l'intelligibilité s'est révélée extrêmement mauvaise. La malade se plaint par ailleurs de bourdonnements et de bruits dans la tête. Les rapports des audiométristes et audioprothésistes font tous état de la très mauvaise discrimination : "entend mais ne comprend pas, même les mots les plus simples ...". Les examens vestibulaires montrent une hypoexcitabilité droite de type périphérique. Les radiographies du rocher ne montrent rien d'anormal.*

E.Coch.G . : *Des enregistrements ont été effectués, sur les deux oreilles, une première fois en 1969, alors que la méthode était encore en cours d'établissement, et récemment, en 1973, par le personnel hospitalier et avec le matériel spécialement conçu pour l'utilisation clinique. Les résultats des différents examens aux deux époques sont rassemblés sur la figure suivante où sont représentés les audiogrammes des oreilles droite et gauche avec, en dessous, la réponse au clic au maximum et le niveau auquel le seuil électro-cochléographique a été trouvé. A droite sont représentéesles courbes obtenues en audiométrie vocale et qui représentent, en fonction de l'intensité à laquelle sont présentés les mots (très simples), les pourcentages de mots compris et correctement répétés. Il est très remarquable de constater la similitude des enregistremebts réalisés à plus de 3 ans d'intervalle et dans des conditions tout à fait différentes. Si les réponses à gauche (de latence courte et d'amplitude faible) sont en accord avec l'audiogramme, les réponses à droite, bien que les seuils soient en accord aussi avec les seuils audiométriques, sont dramatiquement aberrantes. On comprend d'emblée qu'une telle distorsion dès le niveau périphérique, conduise à une intelligibilité aussi désastreuse que celle constatée.*

Il ne nous est pas possible, pour l'instant, de préciser l'origine du signal observé, en particulier de séparer les éléments sensoriels des éléments nerveux, dans ce cas là comme dans les précédents.

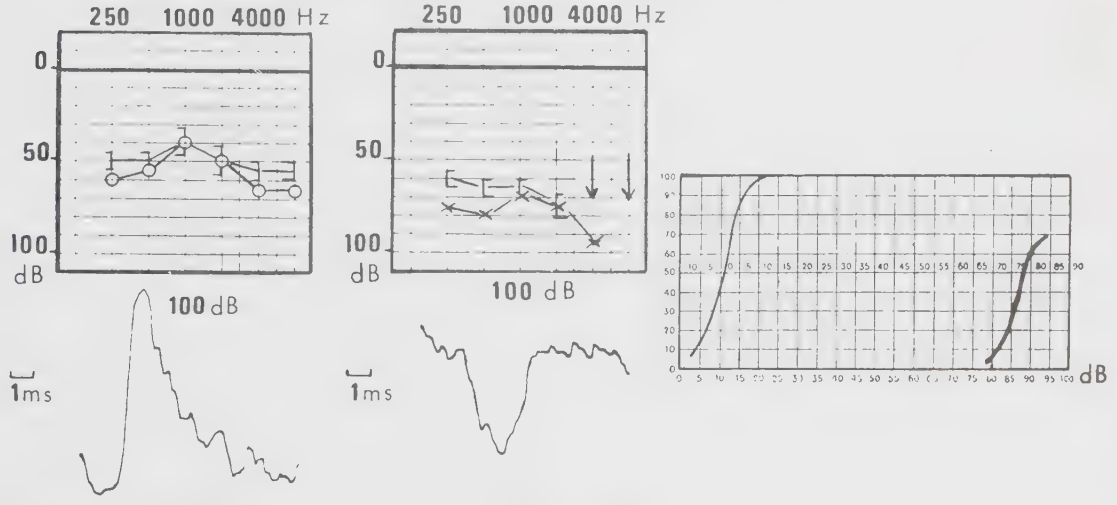
N° **114** Examen du 13.10.69

O.D. O.G. O.D.



Seuil: **70** dB **70** dB

Examen du 22.5.73



Seuil: **60** dB **70** dB

27.— LES CAS MOINS TYPIQUES

En fonction de ces types de réponses bien définis qui regroupent 190 oreilles, on peut situer les 99 cas qui n'ont pas encore été considérés et qui présentent, sur le plan des réponses électro-cochléographiques, soit les caractères de l'un ou de l'autre type, mais moins prononcés, soit des caractères relatifs à plusieurs types différents. Cela est dû essentiellement au fait que les cas n'ont pas été choisis en fonction de leurs caractéristiques cliniques et audiométriques mais que, provenant du Service de Consultation de l'Hôpital, ils correspondent à des pathologies très variées et souvent multiples. Pour analyser ces cas, il convient donc de s'aider de toutes les données disponibles.

271.— Cas des surdités «Mixtes»

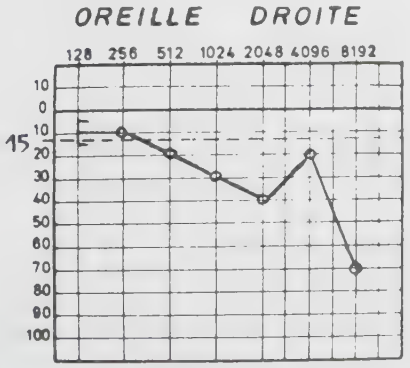
18 oreilles correspondent à ce type de surdité dans lesquelles on trouve d'une part une altération de l'oreille moyenne et d'autre part une atteinte de l'oreille interne. Au décalage du seuil et des courbes s'ajoute une augmentation de la latence au seuil quand, comme c'est presque toujours le cas, il y a une chute sur les aigus (réponses dissociées). Cependant il est souvent difficile au seul vu des réponses électro-cochléographiques, de préciser l'importance de ces deux atteintes. Seule la différence entre les seuils au clic non filtré et au clic filtré aigu permet de mettre en évidence la chute sur les aigus. Dans la plupart des cas, il serait donc intéressant de pouvoir, comme en audiométrie ordinaire, stimuler directement l'oreille interne en utilisant la voie osseuse. Bien que cela n'ait pas fait l'objet de notre travail, signalons que des travaux en cours réalisés dans le Service d'Audiologie, montrent qu'il est possible de délivrer un clic par voie osseuse et d'observer des réponses. La comparaison des seuils ainsi obtenus avec ceux obtenus en voie aérienne met effectivement en évidence une perte par transmission. Cela avec les mêmes limitations (dynamique réduite) que pour l'audiométrie classique. YOSHIE a récemment obtenu des résultats identiques en voie osseuse (YOSHIE, 1972).

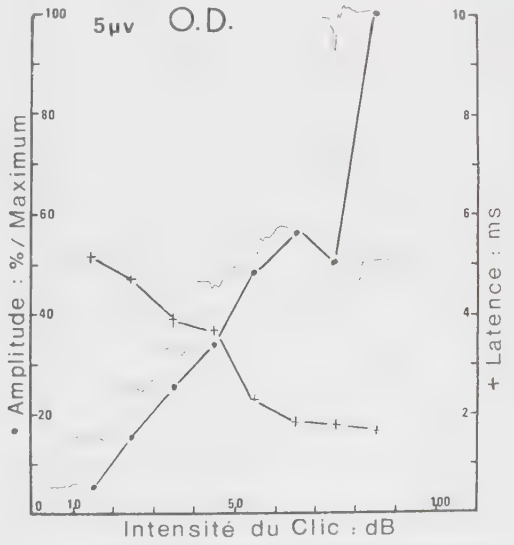
272.— Les autres cas

Une différence essentielle entre les types "recrutant" et "dissocié" est la valeur de la latence au seuil qui est courte dans un cas (recrutant) et longue dans l'autre (dissocié). Les cas qui restent à considérer (81) bien que ne présentant pas toutes les caractéristiques de l'un ou l'autre de ces deux groupes, peuvent être répartis entre ceux-ci sur la base du seul critère de la valeur de la latence au seuil. Ainsi, on trouve 34 oreilles où la latence est supérieure à 3 ms et que l'on peut classer dans le groupe "dissocié" et 47 (dont 14 où la réponse est très faible (ε), de latence très courte et de seuil élevé) où la latence est inférieure à 3 ms et que l'on peut classer dans le groupe "recrutant ".

En fait nous devons nous aider dans la répartition des cas à l'intérieur de ces deux groupes d'autres données, en particulier audiométriques, et on verra comment, dans le chapitre sur l'interprétation des réponses, chacun de ces cas particuliers peut s'interpréter en fonction des interprétations proposées pour les cas typiques

CAS N° 171 : Edouard H..., 50 ans.
Histoire clinique : *ce malade présente une surdité de réception en rapport avec son âge. Cependant on note une configuration particulière de l'audiogramme qui chute sur le 2000, remonte sur le 4000 pour chuter profondément sur le 8000.*
E.Coch.G. : *ici, on a des réponses nettement dissociées, mais avec un plateau très prononcé. Le seuil au clic est de 15 dB, au 4800 il est à 20 dB et au 9600 à 50 dB*



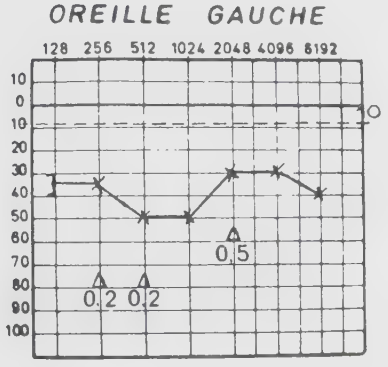


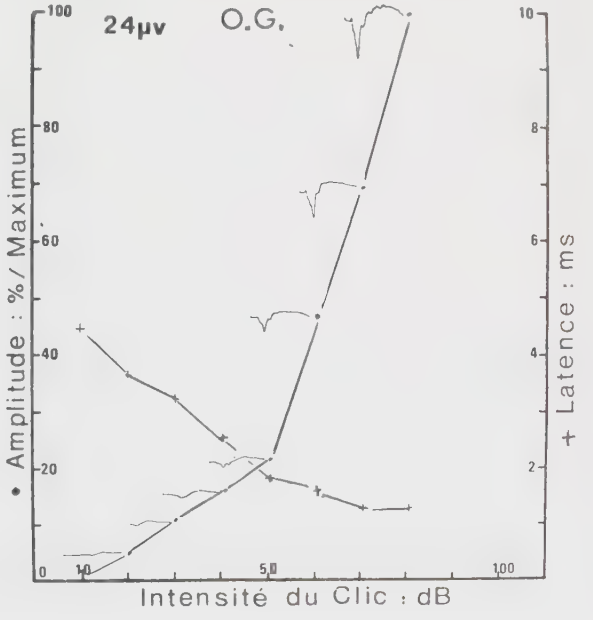
CAS N° 131 : Michel D..., 33 ans

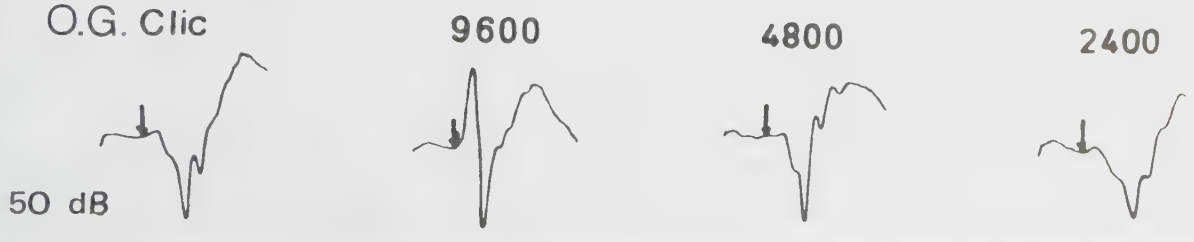
Histoire clinique : *ce malade, qui travaille dans le bruit, présente depuis deux mois des crises de vertiges et des acouphènes. Il s'agit de troubles vasculo-tensionnels à type de Lermoyez. Au moment de l'examen le malade est sous traitement de Vallium et de Bellergal.*

Audiométrie : *on observe une légère surdité de perception prédominant sur les graves. Les tests du recrutement sont positifs sur les 500 et 1000 mais pas sur le 2000.*

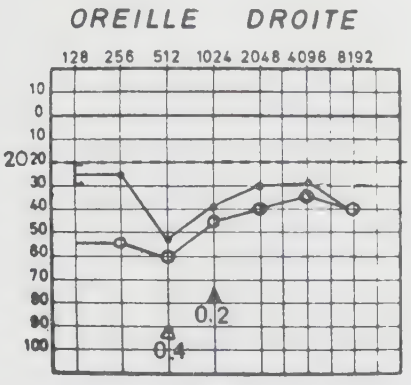
E.Coch.G. : *les réponses sont ici aussi nettement dissociées autour de 50 dB. Les réponses au clic paraissent par ailleurs normales, sauf en ce qui concerne la présence d'un léger pic positif avant la réponse au clic à 85 dB. Par contre un pic positif important apparaît sur la réponse au clic filtré 9600 Hz, alors que pour le clic filtré 4800 Hz on note une déflexion précoce négative (voir également le cas n° 185, page 92).*
On a donc ici, sur le plan des courbes entrée-sortie, des caractéristiques dissociées et, sur le plan des formes des réponses, des caractéristiques rappelant les formes anormales (au moins pour le 9600, c'est à dire à la base de la cochlée), telles qu'on les observe dans les cas de troubles vasculaires.

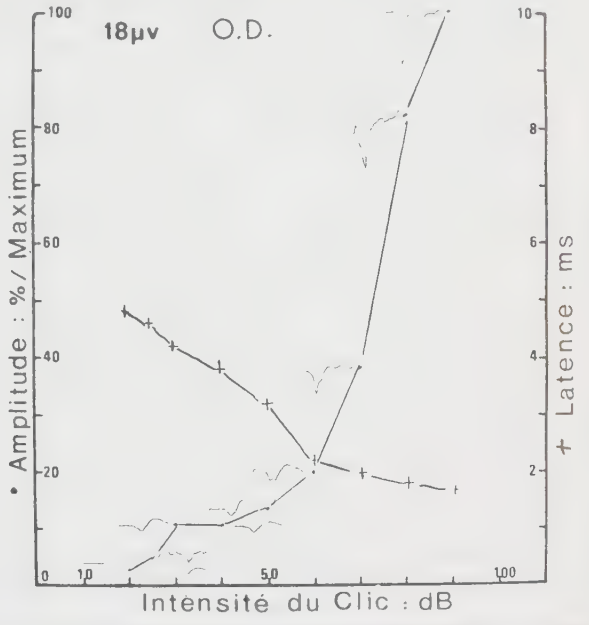






CAS N° 123 : Marguerite S..., 42 ans
Histoire clinique : *cette malade ressent des bourdonnements et a noté la chute de son audition à droite depuis 8 ans.*
Audiométrie : *l'audiogramme révèle une chute sur les graves (500 Hz). Les tests de recrutement sont positifs sur le 500 et le 1000. La fatigabilité est nette sur le 500 et normale sur le 1000.*
E.Coch.G. : *le seuil au clic est bon (20 dB) ainsi que les seuils au 9600 et 4800 (30 dB). Par contre, les courbes amplitude-latence montrent une dissociation très nette jusqu'à 60 dB.*





28.– CLASSIFICATION GENERALE

Disposant finalement de trop de cas pour pouvoir les présenter séparément et de pas assez pour les classer plus rigoureusement, nous pouvons les présenter en fonction des différents types décrits et des valeurs de la latence au seuil.

Outre les oreilles sourdes on distingue les oreilles pour lesquelles la latence au seuil est supérieure ou inférieure à 3 ms .

Dans les premières, on trouve les réponses normales (§ 21), les cas de surdité de transmission (pure - § 22 - et mixte - § 271 -), les réponses dissociées typiques (++) (§ 24), les réponses moins dissociées (+) (§ 272) et les réponses larges (§ 25).

Dans les deuxièmes, on trouve : les réponses recrutantes typiques (++) (§ 23), les moins recrutantes (+) (§ 272), des réponses larges (§ 25) et des réponses très faibles (ε) (§ 272).

Enfin, il reste les réponses anormales typiques (§ 261) et les cas particuliers (§ 262).

L'ensemble peut être rassemblé dans le tableau suivant indiquant le nombre d'oreilles dans chaque cas :

TOTAL : 383

PAS DE REPONSE à 105 dB : 94

LATENCE AU SEUIL > 3 ms : 158

- NORMALES : 64
- TRANSMISSIONS PURES : 15
- TRANSMISSIONS MIXTES : 18
- DISSOCIEES ++ : 15
- DISSOCIEES + : 34
- LARGES : 12

LATENCE AU SEUIL < 3 ms : 102

- RECRUTANTES ++ : 32
- RECRUTANTES + : 33
- LARGES : 23
- ε : 14

ANORMALES : 29

- TYPIQUES : 24
- CAS PARTICULIERS : 5

29.– CAS DES SURDITES CENTRALES

Outre le cas 237 qui présentait une surdité totale et pour lequel on obtenait des réponses (anormales), dans 3 autres cas au moins (puisqu'on ne peut encore être fixé sur l'"audition" réelle des enfants qui présentaient des réponses normales), on a obtenu des réponses normales alors qu'il y avait surdité profonde ou totale confirmée.

EXEMPLES

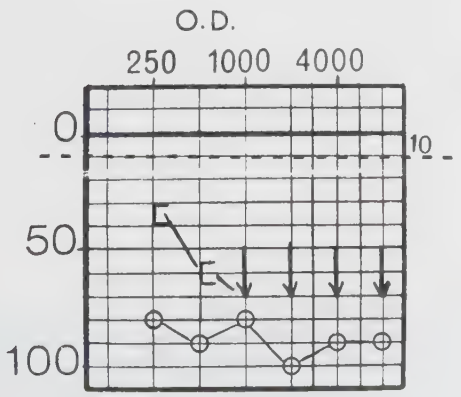
CAS N° 161 : Céline M..., 22 ans

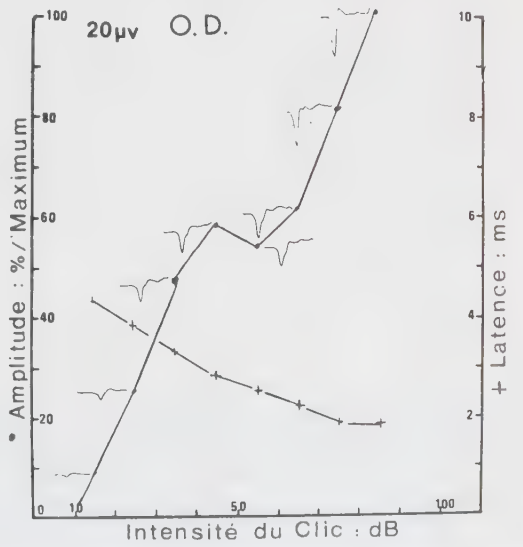
Le terme de surdité "psychique" ou psychogène sert souvent lorsque d'une part on ne trouve aucune explication à une surdité et lorsque, d'autre part, le comportement du malade indique des perturbations telles sur le plan psychique qu'il est probable que c'est uniquement à ce niveau là qu'est affectée l'"audition" du sujet.

C'est le cas de cette malade qui, à l'âge de 22 ans, est amenée en consultation par sa mère pour surdité, celle-ci lui ayant appris la "lecture labiale".

L'audiogramme, très difficile à réaliser, objective des réponses très dispersées dans une zone correspondant à une surdité profonde. Cependant l'état psychique du sujet, ainsi que son comportement durant le test, laissent supposer l'existence d'une surdité fonctionnelle et font décider un examen électro-cochléographique.

Celui-ci réalisé pour l'oreille droite montre des réponses très nettes dès 10 dB et qui présentent toutes les caractéristiques des réponses normales.





CAS N° 358 : Vincent W..., 61 ans

Ce malade vient consulter pour une surdité de réception très rapidement aggravée jusqu'à la cophose totale à droite, cette évolution s'étant faite en 2 ans. Examiné dans un autre centre, le 25 Septembre 1970, ce malade présentait à l'oreille droite un Békézy-Jerger de type III avec une fatigue de caractère dramatique. Ce symptome n'a cependant pas déclenché les examens de la fosse postérieure car l'enquête radiologique osseuse très minutieuse du conduit auditif interne s'est révélée normale.*

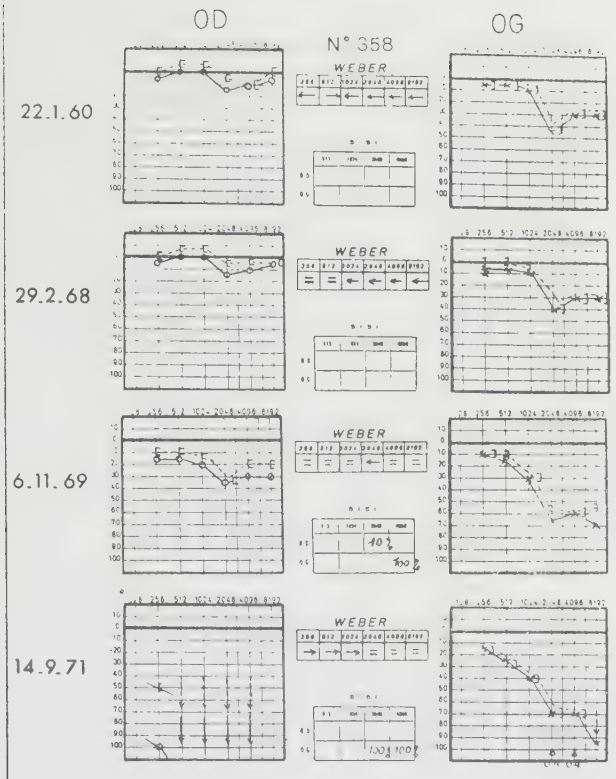
Lorsqu'il vient consulter le 14 Septembre 1971, il présente quelques vertiges avec léger déficit labyrinthique droit à l'électro-nystagmographie, une surdité totale droite, une zone de Ramsey-Hunt hypoesthésique, une hypo-sensibilité cornéenne droite, aucun symptome de déficit des nerfs mixtes. L'électro-cochléographie montre des réponses périphériques pratiquement normales, si ce n'est d'un type légèrement dissocié qui correspond normalement à une légère chute sur les aigus (presbyacousie) tout à fait conforme à l'âge du malade. On pouvait donc affirmer qu'un trouble rétro-labyrinthique modifiait la conductivité afférente de la voie auditive sans perturber la mise en forme cochléaire périphérique.

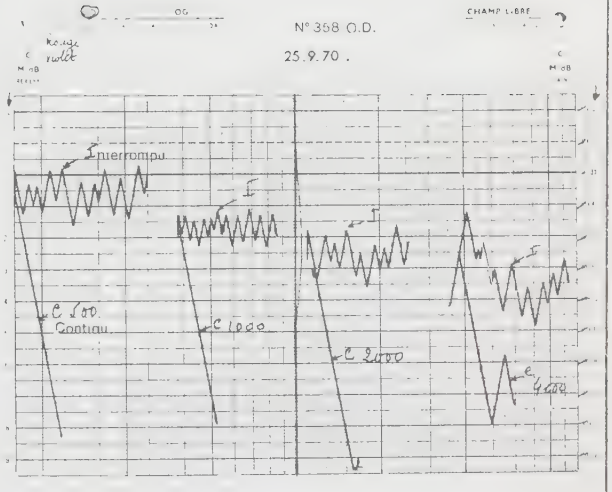
Une enquête radiologique avec cisternographie fait apparaître une énorme tumeur de la fosse cérébrale postérieure.

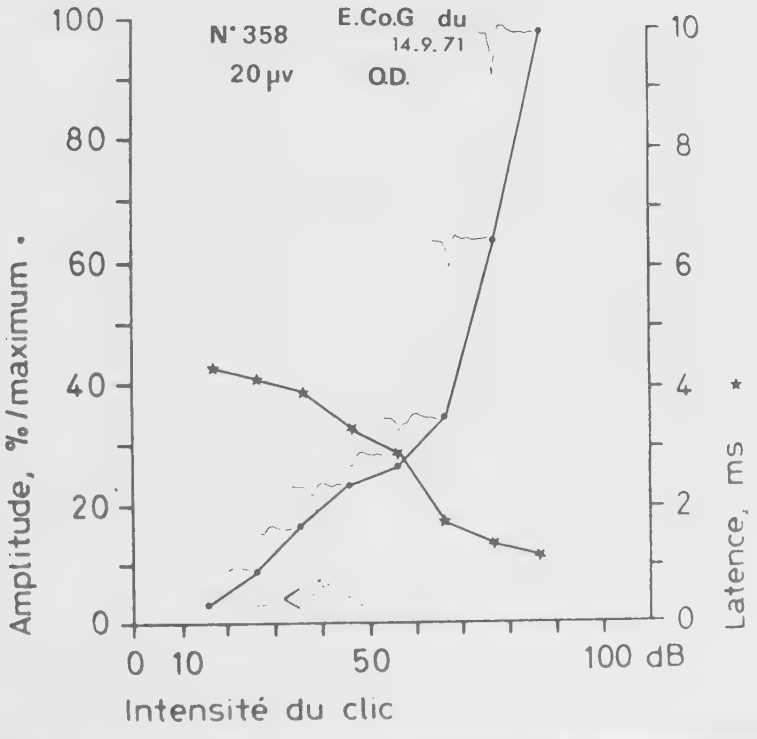
L'opération par voie sous-occipitale objective un neurinome prenant son point de départ sur les nerfs mixtes probablement au niveau de la IXème paire crânienne et comprimant le paquet acoustico-facial et le trijumeau.

---

* Dans l'audiométrie tonale liminaire automatique de BEKESY, la fréquence d'un son pur présenté à l'oreille du malade varie très lentement en même temps que, suivant la position d'un bouton poussoir commandé par le malade, diminuant l'intensité jusqu'à l'extinction de la sensation sonore, puis alors l'augmentant jusqu'à son rétablissement, encadre son seuil auditif. Les variations d'intensité en fonction de la fréquence s'inscrivent sur un graphique dont le niveau moyen indique le niveau audiométrique alors que les petites variations indiquent la sensibilité différentielle du sujet (en particulier si celles-ci sont très petites, cela est le signe de recrutement). Dans le test de BEKESY-JERGER la fréquence est gardée constante et les mesures se font sur l'évolution du seuil en fonction du temps en utilisant d'abord un son interrompu, puis le même son mais continu. Si les deux courbes se superposent, il n'y a pas de fatigabilité alors que si la courbe en son continu s'écarte de la courbe en son interrompu la fatigabilité est importante et cela est le signe très net d'une atteinte rétro-cochléaire.


OD
N° 358
OG
22.1.60
29.2.68
6.11.69
14.9.71
WEBER


N° 358 O.D.
25.9.70.
Interrompu
Continu


N° 358
20 µv
E.Co.G du
14.9.71
O.D.
Amplitude, % / maximum •
Latence, ms ★
Intensité du clic
0 10 50 100 dB

CAS N° 329 : Laurent P..., 8 ans

Le début des troubles remonte à l'âge de 7 ans : baisse du rendement scolaire, puis baisse de l'acuité auditive avec difficulté de parole, enfin installation d'une petite hémiparésie gauche entraînant des troubles de la marche.

Audiométrie : *en sons purs les réponses sont très imprécises avec seuils fluctuant autour de 60-50 dB. L'enfant, malgré sa bonne volonté, n'arrive pas à se fixer sur un niveau précis : les seuils paraissent très larges. En audiométrie vocale le seuil d'intelligibilité se situe à 55 dB, mais les réponses sont très hésitantes et douteuses. Elles sont beaucoup plus nettes dès que la lecture labiale est permise.*

E.Coch.G. : *pratiqué pour l'oreille gauche sous anesthésie locale, on obtient des réponses normales. L'examen ayant dû être très rapide, seules trois intensités ont été testées : 20, 40 et 60 dB pour le clic. A chacun de ces niveaux les réponses sont très nettes et leurs caractéristiques d'amplitude et de latence correspondent respectivement à celles des réponses normales à ces trois niveaux.*

Il n'y a donc pas d'atteinte de la cochlée et du nerf auditif périphérique. Le diagnostic de surdité centrale est porté. Dans les semaines suivant l'examen on assiste à une détérioration progressive avec installation d'un syndrome cérébello-pyramidal et atteinte des VIIème et IXème paires crâniennes.

L'EEG indique une importante perturbation hémisphérique droite, mais l'encéphalographie gazeuse est normale, sans signes de tumeur. Cependant la biopsie cérébrale montre une dégénérescence du tronc cérébral qui se révèle rapidement évolutive.

210.— COMPARAISON DES SEUILS ELECTRO-COCHLEOGRAPHIQUES ET DES SEUILS AUDIOMETRIQUES

Bien que l'on n'ait pas essayé de déterminer systématiquement les seuils des réponses aux différents clics filtrés, on a observé occasionnellement ces réponses à des niveaux supra-liminaires (Fig. 41), sur des oreilles normales. Ces réponses, ainsi que nous le montrons plus loin chez le cobaye (page 185), sont spécifiques des différents domaines de fréquence excités par ces différents sons.

Il aurait donc été en principe possible de déterminer des seuils des réponses à ces différentes stimulations et de tracer des courbes que l'on aurait pu comparer à la courbe audiométrique. Cependant une telle investigation aurait été relativement longue et n'aurait pas permis d'effectuer simultanément les mesures sur la dynamique de l'oreille en observant les réponses aux différentes intensités.

C'est pourquoi l'examen était systématiquement limité à l'enregistrement des réponses au clic depuis le seuil jusqu'à 80 ou 100 dB et à la détermination du seuil au clic filtré aigu 9600 (ou 8000) Hz, la comparaison de ces seuils devant nous permettre d'en déduire la forme générale de la courbe audiométrique du sujet.

Nous n'avons pas non plus systématiquement recherché les seuils d'audition des sujets en utilisant les stimulations de l'electro-cochléographie, la seule référence étant le seuil d'audition moyen normal. Nous allons donc directement comparer les seuils électro-cochléographiques au clic et au clic filtré aigu avec les seuils audiométriques aux sons purs des différentes fréquences de 250 à 8000 Hz.

L'étude ne peut évidemment porter que sur les cas pour lesquels on dispose à la fois d'un audiogramme et d'un electro-cochléogramme valables. Cette obligation exclut automatiquement tous les sujets chez lesquels l'audiogramme était difficile à obtenir : les enfants en bas âge, les simulateurs, les instables, les cas de troubles centraux, et ceux dépassant pour certaines fréquences les limites des appareils. Le nombre des cas disponibles, qui était au

départ de plus de 250 est ainsi réduit à 106 cas (oreilles).

Pour pouvoir comparer le seuil électro-cochléographique au clic (au spectre de fréquences étendu), qui représente une seule mesure liminaire, avec l'audiogramme qui exprime une série de 6 mesures aux six fréquences différentes, nous avons choisi, comme point de comparaison,la moyenne des 6 seuils de l'audiogramme. En désignant respectivement par X1 . . . X6 les seuils audiométriques aux différentes fréquences de 250 . . . 8000 Hz et par Xm la moyenne tonale, nous avons :

$$Xm = \frac{X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6}{6}$$

La comparaison peut alors s'effectuer sur ces bases entre le seuil tonal moyen pour un sujet déterminé Xm et le seuil électro-cochléographique au clic que nous désignons par Y.

La répartition des 106 cas en fonction de la moyenne tonale (Xm) ou du seuil électro-cochléographique (Y) est représentée sur la Figure 42.

Sur ces 106 cas, la moyenne de Xm : $\overline{Xm}$ est de 49,7 dB ;
la moyenne de Y : $\overline{Y}$ est de 50,1 dB .

Ces tableaux et ces moyennes montrent que ces deux représentations de la même population sont comparables.

Pour montrer les relations individuelles entre Y et Xm, c'est-à-dire la dispersion du seuil electro-cochléographique autour du seuil tonal moyen, on a représenté sur la figure 43 les seuils électro-cochléographiques Y en fonction des seuils tonals moyens Xm pour les 106 cas. La méthode des régressions permet d'extrapoler la relation mathématique liant Xm à Y et de conclure que :

$Y = 0,77\ Xm + 11,3$ dB

avec un écart quadratique moyen sur la ligne de régression égal à 14,8 dB.

FIG. 41 - Réponses normales enregistrées chez un enfant pour le clic et les clics filtrés, à 50 dB. Au-dessus, formes des stimulations enregistrées par un microphone.

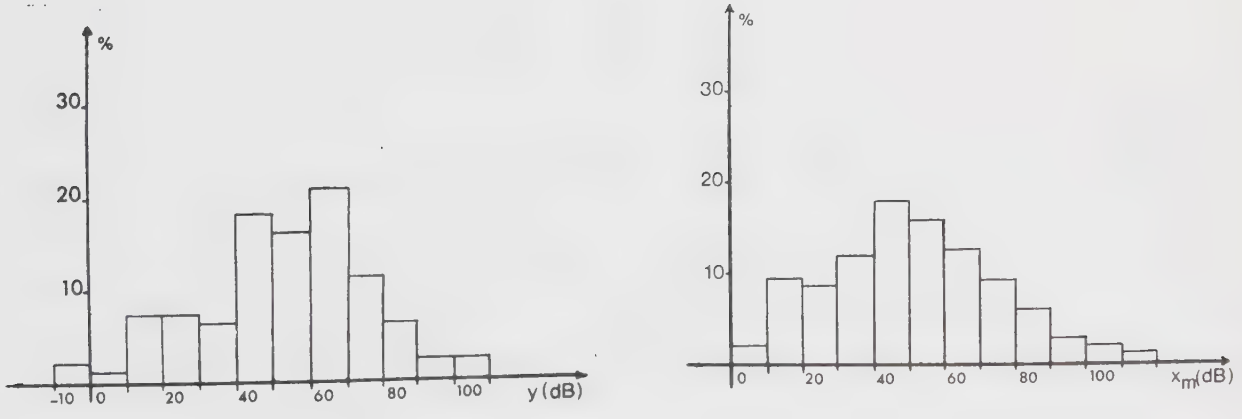


FIG. 42 - Répartition des seuils électro-cochléographiques (Y) au clic (à gauche) et des seuils tonals moyens (Xm) (à droite) dans les 106 cas considérés.

Inversement, ayant trouvé un seuil électro-cochléographique Y on peut en déduire que le seuil tonal moyen se trouve à 10 dB près autour de :

$$Xm = 1,3\ Y - 14,7\ dB$$

cela avec une probabilité de 49,5 %.

On peut également dire que la différence Y - Xm (Fig. 44) est inférieure à :

10 dB dans 49,5 % des cas,
20 dB dans 81 % des cas,
30 dB dans 95 % des cas,
40 dB dans 99 % des cas.

Enfin, si on compare le seuil électro-cochléographique Y aux seuils tonals aux différentes fréquences (X1 . . . X6), on trouve que dans 50 % des cas :

$Y = X1 + 10\ dB \pm 11\ dB$
$Y = X2 - 3,5\ dB \pm 12\ dB$
$Y = X3 - 1,5\ dB \pm 10,5\ dB$
$Y = X4 - 1,5\ dB \pm 8\ dB$
$Y = X5 - 9\ dB \pm 7\ dB$
$Y = X6 - 12\ dB \pm 10\ dB$

de cela, il ressort que le seuil électro-cochléographique est en général moins bon que le seuil audiométrique aux basses fréquences et meilleur que ce dernier aux fréquences aiguës. Cela ne fait que refléter que, dans la plupart des cas,il s'agit d'une surdité plus prononcée sur les aigus et que le seuil au clic, ce dernier interrogeant toutes les fréquences, se situe toujours entre les seuils extrêmes.

Enfin, nous avons considéré, dans 64 cas, l'écart entre le seuil au clic filtré aigu (Y6) et le seuil audiométrique à 8000 Hz. La répartition des cas en fonction des écarts entre ces deux seuils (Y6 - X6) est représentée sur la figure 45. La concordance est bonne puisque, dans 73,4 % des cas, cette différence est inférieure à 10 dB.

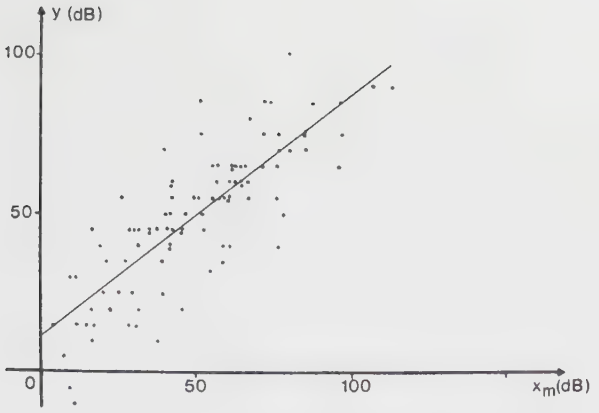


FIG. 43 - Seuils électro-cochléographiques au clic (Y) en fonction des seuils tonals (Xm) pour les 106 cas considérés.

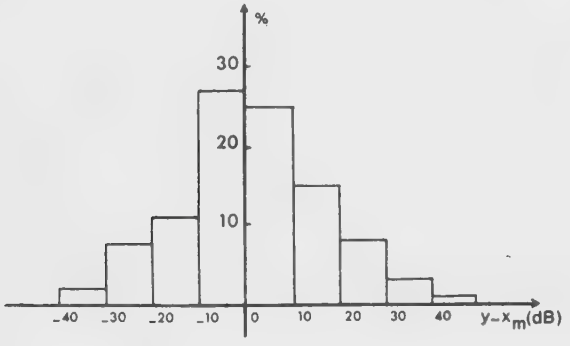


FIG. 44 - Répartition des écarts individuels entre le seuil électro-cochléographique au clic et le seuil tonal moyen (Y - Xm) pour les 106 cas.

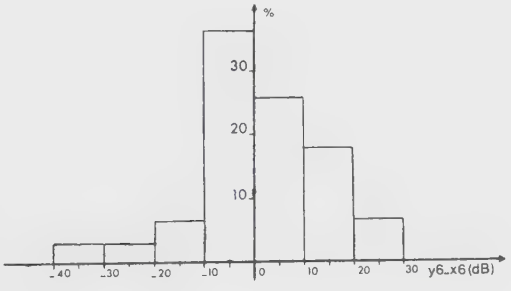


FIG. 45 - Répartition des écarts individuels entre le seuil électro-cochléographique au clic filtré aigu (9600 Hz) (Y6) et le seuil tonal à 8000 Hz (X6) : Y6 - X6 pour 64 cas.

Le Cas n° 210 (page 86) permet d'illustrer l'intérêt de l'observation des réponses au clic non filtré et au clic filtré aigu, la différence audiométrique entre les deux oreilles étant très fidèlement reflétée sur le plan électro-cochléographique. Pour l'oreille droite, où la chute n'est prononcée que sur le 8000, le seuil au clic est bon et l'écart entre celui-ci et le seuil au clic filtré 9600 Hz est de 35 dB (réponses dissociées), alors qu'à gauche, où la chute est dès 2000 Hz, le seuil au clic est moins bon et l'écart entre les deux seuils plus faible (15 dB) ; les réponses au clic sont entre les dissociées et les recrutantes typiques, alors que les réponses au 9600 Hz sont nettement recrutantes.

3.– ESSAI D'INTERPRÉTATION

31.– DONNEES ACTUELLES SUR LA STRUCTURE ET LE FONCTIONNEMENT DU RECEPTEUR PERIPHERIQUE

Les interprétations que nous pouvons proposer sont basées sur les connaissances actuelles dont nous disposons concernant le fonctionnement du récepteur périphérique et dont nous allons dégager les éléments essentiels qui interviennent directement dans les mécanismes de la stimulation des fibres du nerf auditif et donc dans la genèse de la réponse électro-cochléographique : le potentiel d'action global - ou composite - du nerf auditif.

311.– Diffusion des phénomènes électriques

Il faut d'abord considérer les conditions électro-anatomiques dans lesquelles se fait l'influence de l'électrode lors du passage des impulsions le long du nerf.

La cochlée et le nerf auditif sont noyés, surtout chez l'homme, dans une masse osseuse à la surface de laquelle se trouve, en un point, l'électrode active.

Etant donné que l'électrode de référence est placée beaucoup plus loin, nous pouvons, ainsi que l'ont proposé TEAS, ELDREDGE et DAVIS (1962), admettre les points suivants :

1) *un grand nombre de fibres de dimensions comparables passe à travers le conduit auditif interne. On peut considérer que chaque fibre contribue de la même manière à l'élaboration de la réponse globale.*

2) *La réponse de chaque fibre se fait selon la loi du tout-ou-rien.*

3) *Quand une électrode est sur la cochlée et l'autre sur la* boîte crânienne, *les électrodes physiologiques sont les deux extrémités du court tube formé par la columelle et le conduit auditif interne, dans lequel le nerf auditif passe à travers les parois osseuses isolantes entre le canal cochléaire et le cerveau.*

4) *Les impulsions nerveuses émergent de l'extrémité interne du conduit auditif interne. En conséquence la forme propre du potentiel d'action de chaque fibre nerveuse doit être diphasique ...*

5) *La réponse de chaque fibre est une onde complexe. En conséquence l'amplitude du pic du potentiel d'action global mesure le nombre de fibres activées seulement si toutes les impulsions sont étroitement synchronisées en une volée.*

A cela nous pouvons ajouter que ces électrodes physiologiques effectives sont larges et qu'elles introduisent donc un flou, d'autant plus important que le conduit auditif et le nerf sont longs. Comme on le verra plus loin (IIème partie, 3, page 233), ces dimensions étant plus petites chez le singe et le cobaye que chez l'homme, les réponses chez les premiers sont plus rapides et plus nettes que chez l'homme (en ce sens que davantage de détails, comme N2 par exemple, apparaissent clairement).

312.– Elaboration de la réponse globale

D'une manière générale on peut aborder l'étude du potentiel d'action composite du nerf auditif comme celle du potentiel d'action d'un nerf stimulé électriquement et dont la forme dépend de la distance entre les points de stimulation et d'enregistrement et de la distribution des diamètres des fibres dans le nerf (GASSER et ERLANGER, 1927 ; GASSER et GRUNDFEST, 1939 ; CASEY et BLICK, 1969 ;

OLSON et BE MENT, 1970). Dans les deux cas, la forme du potentiel d'action composite est le produit de la convolution de deux fonctions du temps : f(t) (onde unitaire) et N (t) (nombre d'impulsions qui apparaissent, à chaque instant, au point d'enregistrement). Dans le cas général du nerf stimulé électriquement on suppose que toutes les fibres sont déclenchées au même instant et que du fait de leurs vitesses de conduction différentes (en rapport avec leurs diamètres respectifs), N (t) au point d'enregistrement est uniquement fonction de la distance et de la distribution des diamètres des fibres. Dans le cas du nerf auditif au contraire on peut considérer que les vitesses de conduction sont les mêmes (diamètres identiques) (voir p. 233) et que donc les réponses des fibres déclenchées en même temps au niveau de l'oreille interne arrivent synchronisées de la même manière sur l'électrode. Alors N (t) est uniquement fonction de la séquence de déclenchement des fibres, séquence qui dépend du stimulus et des facteurs mécaniques et neurophysiologiques que nous allons considérer dans ce chapitre. Bien que cela n'ait pas fait l'objet de notre travail, on pourrait envisager, comme pour le nerf stimulé électriquement et comme l'ont déjà essayé TEAS, ELDREDGE et DAVIS (1962) (Fig. 46), de remonter, par l'analyse mathématique du signal global, à la fonction N(t).

Soulignons en outre que ce signal, des plus spécifiques, ne joue apparemment aucun rôle dans la transmission et la perception du son, mais qu'il traduit le fonctionnement global des fibres qui, elles seules véhiculent l'information sous forme d'impulsions codées. Ce signal n'est que le résultat du phénomène physique de la convolution des impulsions telle qu'elle est réalisée dans l'enregistrement à distance de l'activité de l'ensemble des fibres.

313.— L'oreille moyenne

Celle-ci joue essentiellement le rôle d'adaptateur d'impédance qui permet d'éviter, dans un rapport de 99,99 %, la réflexion de la vibration sonore lors de son passage du milieu aérien extérieur au milieu liquide de l'oreille interne. Son altération pathologique

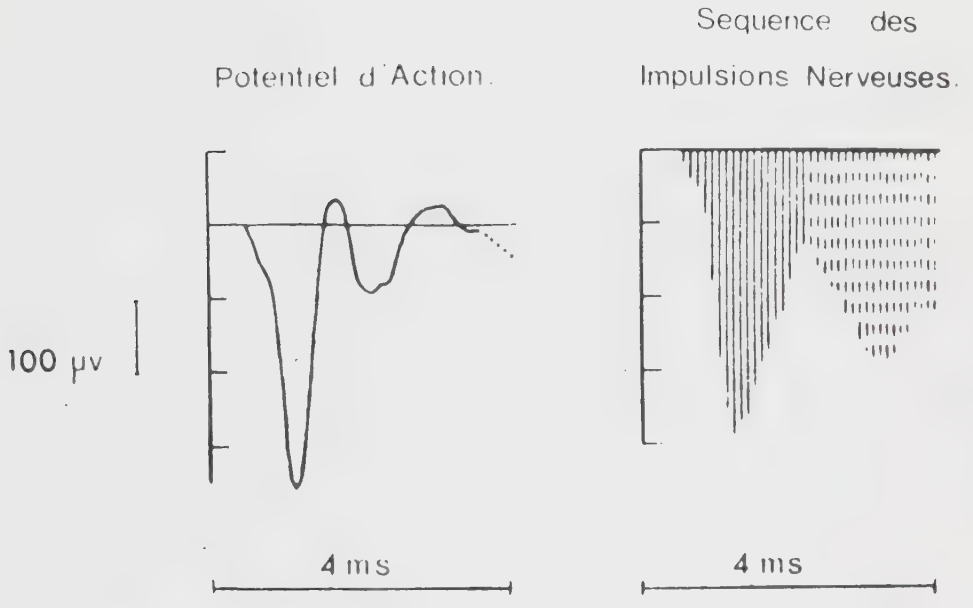


FIG. 46 - Relations entre la reponse nerveuse globale (à gauche) et la séquence de déclenchement des fibres (à droite) estimée par calcul, lors d'une stimulation par clic. (TEAS, ELDREDGE et DAVIS, 1962). L'amplitude de chaque barre verticale est proportionnelle au nombre probable de fibres déclenchées à chaque instant. Les barres interrompues représentent une deuxième activation des fibres.

n'entraîne donc qu'une perte auditive correspondant à la mauvaise transmission du son ; mais une fois que la vibration atteint l'oreille interne, les conditions de stimulation du nerf sont les mêmes. C'est ce que l'on observe au niveau des réponses du nerf auditif puisque l'on assiste à un décalage du seuil et des courbes mais à des réponses normales par ailleurs (voir Fig. 38, page 67).

Il est à noter que nous n'avons pas remarqué de phénomène particulier lié à la contraction réflexe des muscles de l'oreille moyenne, sauf dans un cas. Nous avons une fois observé, après la réponse électro-cochléographique, une réponse plus tardive, positive, dont l'amplitude était très dépendante du rythme de la stimulation, et qui était sans doute l'image d'un réflexe neuro-musculaire court.

Si une activité réflexe doit apparaître, elle ne peut se produire qu'au tout début de la série de stimulations sonores, car le rythme de répétition, qui est de 10 par seconde, ne peut être suivi par les muscles dont l'adaptation commence pour des intervalles de 1 seconde. C'est pourquoi nous n'avons pu, sur la réponse moyenne, observer cette activité réflexe des muscles de l'oreille moyenne, qui normalement doit se produire tout au moins dans les oreilles normales.

314.– Le fonctionnement mécanique de l'oreille interne

L'idéal pour déclencher une réponse globale nette du nerf est de stimuler absolument au même instant l'ensemble des fibres de telle sorte que, leurs réponses apparaissant simultanément, leur sommation telle qu'elle se fait dans l'enregistrement à distance, donne un signal dont la forme soit celle de la réponse unitaire standard et dont l'amplitude soit alors directement proportionnelle au nombre de fibres excitées. Or ce n'est absolument pas le cas, car même si on pouvait délivrer au niveau de la fenêtre ovale le transitoire parfait, comme a pu le faire LEGOUIX chez le cobaye (1964), celui-ci, se propageant d'une manière très particulière le long de la membrane basilaire, va stimuler les différentes structures les unes après les autres.

Ainsi on trouve sur les deux plans : longitudinal et radial, des propriétés mécaniques bien particulières :

Sur le plan longitudinal :

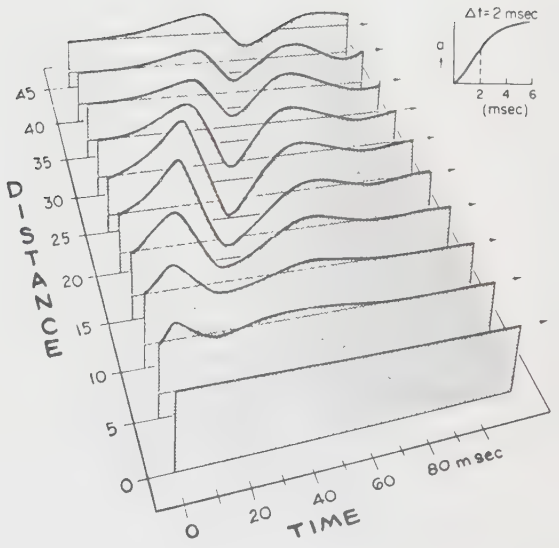
Les travaux de von BEKESY, confirmés et précisés par la suite, ont montré la manière dont se propage une onde acoustique le long de la membrane basilaire. Cette onde sonore perd progressivement ses composantes haute fréquence au fur et à mesure qu'elle progresse depuis la base jusqu'à l'apex de telle sorte qu'alors que la base reçoit toutes les fréquences composant l'onde sonore, l'apex ne reçoit que les fréquences basses (Fig. 47). Cela est dû aux caractéristiques mécaniques de la membrane basilaire dont la largeur et la masse augmentent de la base au sommet alors que sa tension diminue.

Sur le plan radial :

La disposition des cellules réceptrices sur la membrane basilaire est très particulière : les cellules ciliées externes, très nombreuses (13 400 sur 3 à 4 rangées) reposent sur la membrane dans sa partie la plus souple entre la lame spirale osseuse et le ligament spiral. Elles sont donc susceptibles de vibrer lors d'excitations mécaniques de faible amplitude. Par contre les cellules ciliées internes, moins nombreuses (3 400 sur une seule rangée), reposent en partie au-dessus de la lame spirale osseuse et sont donc moins sollicitables mécaniquement et ne vibreront que pour des stimulations relativement intenses (Fig. 48).

Sur le plan mécanique, il apparait donc déjà une organisation particulière de l'oreille interne qui semble destinée à l'analyse de la vibration sonore dans les deux dimensions qui la caractérisent : les fréquences et l'intensité, analyse très schématiquement assurée par l'organisation respectivement longitudinale (analyse en fréquence) et radiale (analyse en intensité) de la membrane basilaire et des cellules réceptrices.

FIG. 47 - Représentation du mouvement des différents points d'un modèle de membrane basilaire lors de la stimulation par un transitoire lent (temps de montée 2 ms) (TONNDORF, 1962). Avec le transitoire idéal tous les points seraient progressivement stimulés et l'amplitude de leur vibration ne dépendrait que de leur sensibilité mécanique respective puisque l'énergie du clic serait uniformément répartie sur toutes les fréquences. Le maximum de vibration se trouverait donc à l'endroit où la sensibilité mécanique est maximum correspondant à la zone autour de 1000 Hz.



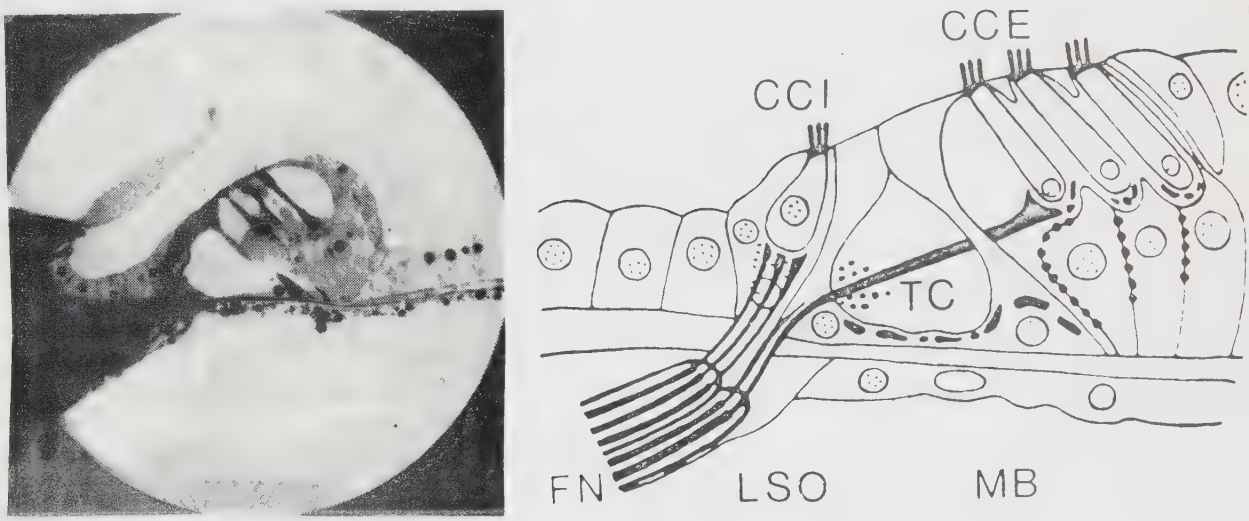


FIG. 48 - Vue au microscope optique d'une coupe radiale semi-fine (1 µ) de l'organe de Corti du cobaye (2ème tour) et schéma explicatif.
CCI : Cellule ciliée interne
CCE : Cellule ciliée externe
LSO : Lame spirale osseuse
MB : Membrane basilaire
TC : Tunnel de Corti
FN : Fibres nerveuses
On voit ici combien les cellules ciliées externes sont légèrement suspendues au milieu de la membrane basilaire alors que la cellule ciliée interne se trouve au-dessus de la lame spirale osseuse et étroitement emballée dans les cellules de soutien.

315.— Organisation et distribution des fibres

Grâce en particulier aux travaux de SPOENDLIN (1966, 1967 1971, 1972) on dispose d'une représentation précise de la distribution des fibres nerveuses vers les cellules ciliées, distribution qui semble, elle-aussi, orientée, et cela d'une manière beaucoup plus précise et effective, vers l'analyse de la vibration sonore.

Innervation efférente :

Soulignons d'abord que, outre l'innervation afférente qui véhicule le message nerveux vers les centres, il existe une innervation efférente, centrifuge, qui place l'oreille sous le contrôle central. Si l'importance relative de cette innervation efférente qui avait pu être suivie jusqu'à l'habenula perforata depuis longtemps (Fig. 49) (PORTMANN, 1952 ; RASMUSSEN, 1953) ne représente que 1 % de l'ensemble des fibres du nerf auditif, celle-ci s'est révélée depuis considérable au niveau des terminaisons sur les cellules réceptrices externes (Fig. 50). En effet, le microscope électronique a permis de dénombrer, au niveau des cellules ciliées externes, autant de terminaisons efférentes qu'afférentes. Ces fibres font également contact avec des fibres afférentes sous les cellules ciliées internes (SPOENDLIN, 1966).

Si ce système parait actuellement bien connu sur le plan anatomique, sa fonction n'a pu être encore bien précisée, malgré les travaux en particulier de FEX et de GALAMBOS. La stimulation du faisceau olivo-cochléaire croisé diminue les réponses globales du nerf auditif à une stimulation par clic (GALAMBOS, 1956 ; DESMEDT, 1962) et augmente leur latence (DAYAL, 1968). Elle diminue également le rythme de décharge des fibres stimulées par un son pur à leur fréquence caractéristique (WIEDERHOLD et KIANG, 1970) ; elle augmente au contraire la réponse microphonique (FEX, 1959). D'après toujours FEX (1967) les neurones afférents subiraient une inhibition présynaptique par l'activation du faisceau olivo-cochléaire croisé. Enfin DAIGNEAULT (1970) et KUPPERMAN (1972) ont montré un élargissement des réponses globales du nerf auditif au clic après section de ce faisceau.

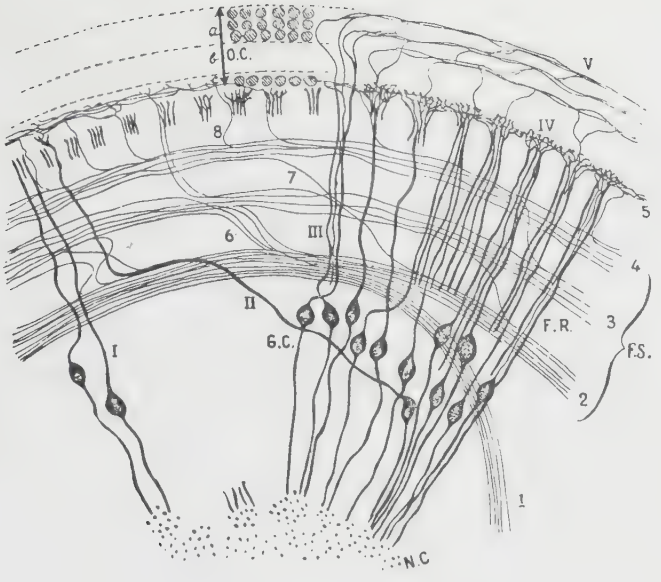


FIG. 49 - Tracé des fibres efférentes jusqu'au niveau des cellules ciliées internes.
Les fibres afférentes sont en trait épais et repérées en chiffres romains, les fibres efférentes sont en trait fin et repérées en chiffres arabes. (Travaux en microscopie optique, M. PORTMANN, 1952).
Comme on le constate sur cette figure les fibres efférentes n'avaient pu être suivies que jusqu'au plexus spiral interne. Grâce au microscope électronique, leur trajet et leurs terminaisons ont pu être décrits jusqu'aux cellules ciliées externes.

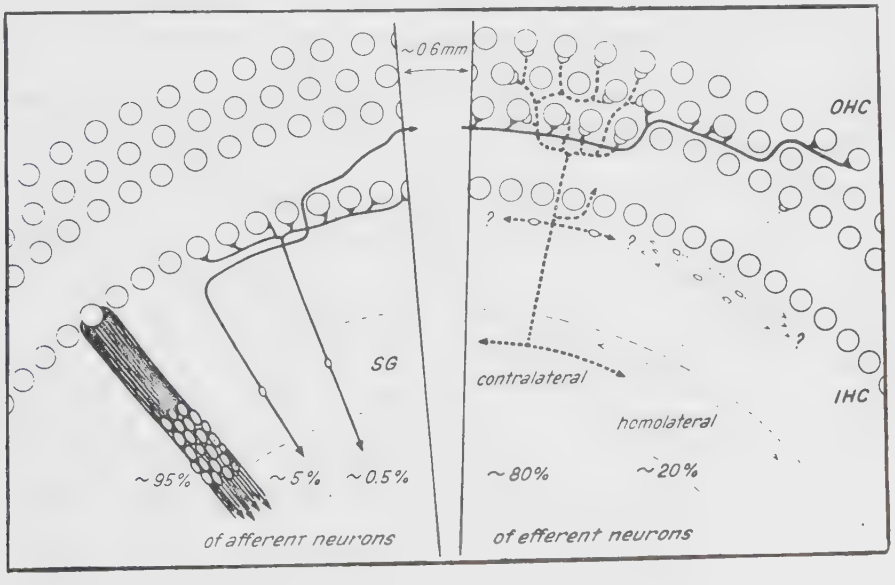


FIG. 50 - Schéma de l'innervation de l'organe de Corti avec les différents types de neurones et leurs pourcentages relatifs. A gauche neurones afférents, à droite neurones efférents (Travaux en microscopie électronique, H. SPOENDLIN, 1971).

Innervation afférente des cellules ciliées externes

Seulement 5 % des cellules nerveuses du ganglion spiral, qui envoient chacune une fibre vers les noyaux cochléaires, sont affectés aux cellules ciliées externes (SPOENDLIN, 1971). Leur liaison avec les cellules ciliées est très particulière : l'axone sort de la lame spirale osseuse par l'habenula perforata, perd sa gaine de myéline, poursuit un trajet spiral en direction de la base, interne d'abord, court, puis traverse le pied du tunnel de Corti et continue un long trajet spiral en direction de la base en distribuant des terminaisons vers une dizaine de cellules externes des différentes rangées (Fig. 50). La projection de ce neurone vers la base a certainement une signification sur le plan de l'analyse fréquentielle. De plus il est soumis à l'excitation conjuguée de plusieurs cellules réceptrices. Il y a donc sommation spatiale des excitations si bien qu'alors que l'excitation due à une seule cellule pourrait être trop faible pour déclencher le potentiel au niveau du tronc principal myélinisé de l'axone, la sommation des excitations (potentiels générateurs) de plusieurs cellules permet d'atteindre ce seuil de déclenchement (FiG. 51). Il apparait donc que la sensibilité de la fibre est augmentée en fonction du nombre de cellules auxquelles elle est connectée. Comme ces cellules externes sont les plus sensibles mécaniquement, ce contingent de fibres afférentes, bien que très limité au point de vue nombre, est très sensible.

Innervation afférente des cellules ciliées internes

Le schéma est diamétralement différent en ce qui concerne les cellules nerveuses excitées par les cellules ciliées internes. Ces neurones représentent près de 95 % de l'ensemble des cellules du ganglion spiral (SPOENDLIN, 1971). Chaque cellule va directement, sans aucun trajet spiral, à une seule cellule ciliée interne (Fig. 50) et le trajet amyélinisé de l'axone entre l'habenula perforata et la cellule ciliée est alors très court. Chaque cellule ciliée reçoit par contre un fort contingent de fibres différentes. D'une telle distribution, il ressort que chaque fibre nerveuse est très spécifique en ce qui concerne la localisation longitudinale et donc très précise pour l'information fréquence. En outre, chaque fibre

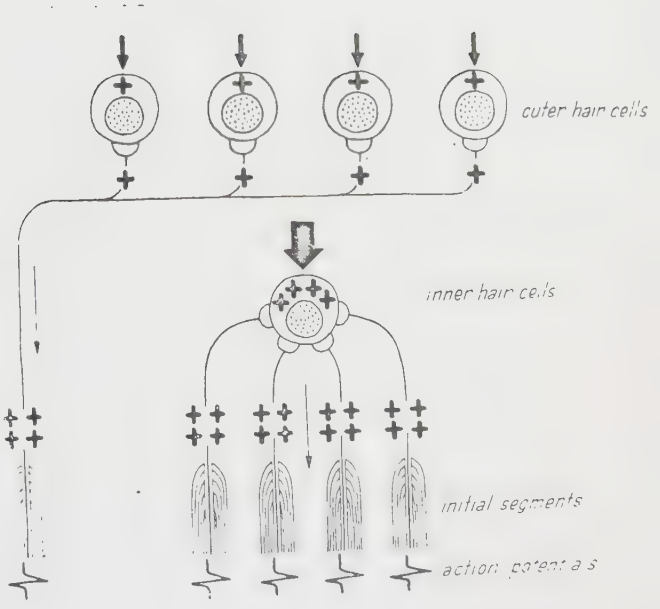


FIG. 51 - Représentation schématique du principe de l'excitation des fibres externes et internes par les cellules sensorielles, explicitant le mécanisme du déclenchement du potentiel d'action au niveau du tronc principal myélinisé.

↓ *stimulation mécanique faible*
↓ *stimulation mécanique élevée*

\+ *excitation faible de la fibre*
++ *excitation forte de la fibre*
(SPOENDLIN, 1967).

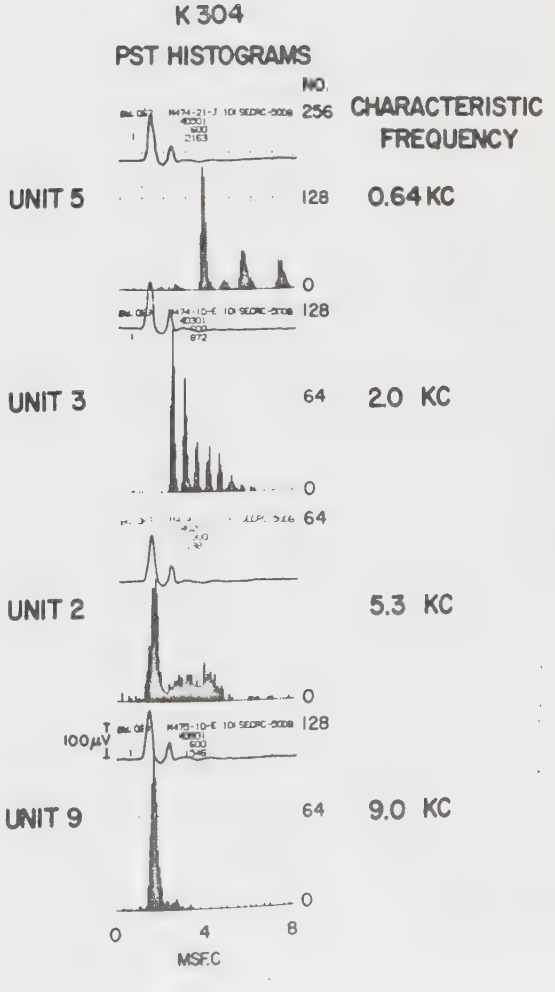


FIG. 52 - Réponse globale du nerf auditif chez le chat (en haut de chaque diagramme) lors d'une stimulation répétitive par clic et Post Stimulus Time (PST) histogramme de différentes fibres ayant différentes fréquences caractéristiques (KIANG, 1965) Sur les histogrammes, le temps après la stimulation est porté en abscisse, la hauteur des barres verticales est proportionnelle au nombre de fois où la fibre a répondu à l'instant considéré lors de la stimulation répétitive.

ne recevant l'excitation que d'une seule cellule, l'excitation délivrée par cette dernière devra être suffisante pour déclencher la réponse de la fibre (Fig. 51). Comme d'autre part, les cellules internes semblent moins sensibles à la vibration, ce fort contingent de fibres parait réservé à la transposition des fortes intensités.

Enfin, un très petit nombre de fibres, de nature identique aux fibres allant aux cellules ciliées externes (0,5 %), se comporte vis-à-vis des cellules internes comme les fibres externes, en ce sens qu'il y a là aussi sommation spatiale, mais sans projection vers la base (Fig. 50).

On peut donc dire qu'il existe deux contingents principaux de fibres : le contingent externe, très sensible mais peu spécifique quant à la localisation spatiale (et donc fréquentielle) et le contingent interne, moins sensible, très important et très précis.

316.– Fonctionnement des fibres

L'étude du fonctionnement unitaire des fibres du nerf auditif a été très développée ces dernières années. Sur le plan électrophysiologique une fibre est caractérisée par :

– son activité spontanée,

– sa fréquence caractéristique, ou meilleure fréquence, qui est la fréquence où la sensibilité de la fibre est maximum;

– son domaine de fonctionnement défini, sur un graphique fréquence-intensité, par l'aire à l'intérieur de laquelle la fibre répond ;

– les "PST Histograms", lors de stimulations brèves variées, dont le clic. C'est la distribution statistique des impulsions après la stimulation sonore, lors de stimulations répétées, (KIANG, 1965) et ses variations aux différentes intensités de stimulation.

KIANG a ainsi observé un grand nombre de fibres du nerf auditif de fréquences caractéristiques très variées. Il note en particulier une relation très étroite entre la fréquence caractéristique de la fibre et la latence du premier pic dans le PST Histogram lors de la stimulation par clic (Fig. 52).

ROSE et son équipe (1967, 1969, 1971) ont en particulier montré que les fibres répondaient en synchronie avec la stimulation sonore, au moins pour les basses fréquences (Fig. 53). Leurs travaux ainsi que ceux de KIANG suggèrent également qu'il existe un mécanisme de contrôle de la sensibilité dans la cochlée et que l'amplitude de la vibration de la membrane basilaire doit suivre non linéairement celle de la stimulation sonore.

Cependant jusqu'à présent il n'y a aucune évidence, sur le plan de l'activité des fibres, de deux populations d'origine et de nature différentes telles qu'elles apparaissent en microscopie électronique. Seule une différence dans le niveau de saturation des fibres pourrait indiquer une différence dans le nombre de cellules ciliées qui innervent la fibre (ROSE et al., 1971). SPOENDLIN (1971) pense que peut-être jusqu'à présent on n'a pas eu la chance d'enregistrer l'activité d'une fibre "externe" en raison de leur faible proportion dans le nerf auditif et de la taille plus réduite de ces fibres "externes".

Enfin, un comportement particulier de la réponse des fibres en présence d'un stimulus complexe a été observé par KIANG et MOXON (1972) (Fig. 54) qui semble mettre en évidence deux domaines de réponse (et donc peut-être de stimulation) de la fibre aux faibles ou moyennes et aux fortes intentistés.

L'ensemble des observations actuelles suggère que l'on est plutôt en présence de deux mécanismes de stimulation des fibres que de deux groupes de fibres.

En résumé, et en ce qui concerne la genèse du potentiel d'action global du nerf auditif, différents facteurs interviennent qui sont, par ordre chronologique :

- le stimulus,
- les phénomènes mécaniques sur la membrane basilaire, tant longitudinalement que radialement,
- l'organisation des fibres dans l'organe de Corti,

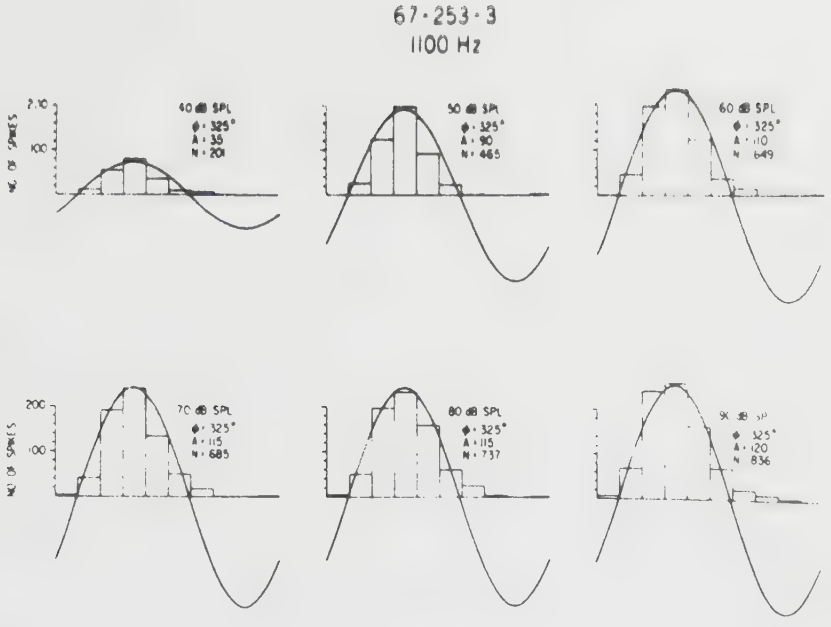


FIG. 53 - Histogramme des réponses d'une fibre au cours d'une stimulation par son pur de différentes intensités (ROSE et al., 1971).

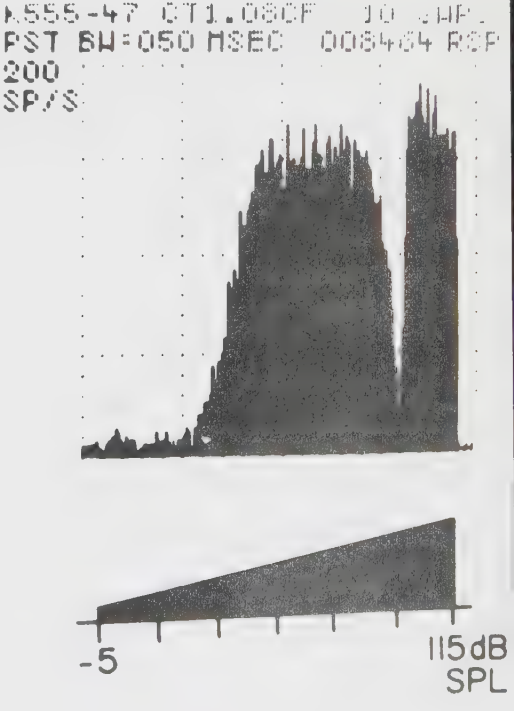


FIG. 54 - Histogramme des réponses d'une fibre du nerf auditif lors d'une stimulation par son pur dont l'intensité augmente progressivement de - 5 à + 115 dB (SPL), répétée. Quand le niveau du son s'élève au-dessus du seuil, le rythme de décharge augmente jusqu'à ce qu'il y ait saturation et reste saturé sur une gamme d'intensités relativement large, puis décroit brusquement jusqu'au niveau du rythme de l'activité spontanée, enfin repart rapidement vers un maximum où il y a de nouveau saturation (KIANG et MOXON, 1972).

— les mécanismes neuro-physiologiques, dont en particulier l'activité du système efférent,

— secondairement tout ce qui peut retentir sur le fonctionnement de ces éléments de base tels les problèmes vasculaires, tensionnels, les problèmes du métabolisme des cellules sensorielles, les conditions électrolytiques, etc.

En fonction des données anatomo-physiologiques qui viennent d'être rappelées une interprétation tant sur le plan des formes des réponses que sur celui des courbes entrée-sortie amplitude-latence peut être proposée dans les types de réponses les plus clairs qui ont été décrits. Puis les cas plus complexes seront, à l'occasion de quelques exemples, interprétés sur les mêmes bases et par rapport aux cas typiques. Enfin, on soulignera l'incidence, sur le plan de la sensation, des altérations du récepteur périphérique manifestées par les formes particulières des réponses dans différentes pathologies.

32.— REPONSES NORMALES

Les deux "processus" qui, sur le plan mécanique et structural, semblent intervenir dans l'excitation des fibres afférentes du nerf auditif apparaissent clairement sur les réponses normales. En effet, les réponses de latence relativement longue et de faible amplitude, aux intensités inférieures à 50 dB, seraient provoquées par la mise en jeu du premier mécanisme, sensible, au niveau de l'ensemble des structures sensorielles et nerveuses externes en raison de leurs caractéristiques mécaniques et du principe de la sommation spatiale des excitations sur les fibres. Un autre argument en faveur de l'intervention des seules structures externes aux faibles intensités est la longueur de la latence. En effet comme les fibres "externes" présentent de longs trajets amyélinisés qui ne conduisent pas de potentiel d'action mais des polarisations proportionnelles à l'excitation, leur vitesse de conduction est relativement lente, et le potentiel d'action apparait avec un certain retard au niveau du tronc principal myélinisé à l'entrée de la lame spirale osseuse. Enfin le caractère diphasique de la réponse peut éventuellement s'ex-

pliquer par le fait que l'on n'a qu'un petit nombre de fibres identiques qui répondent d'une manière assez bien synchronisée de telle sorte que la réponse globale, bien que tardive, soit diphasique, comme on admet que la réponse unitaire le serait si on pouvait l'enregistrer seule dans les mêmes conditions.

Lorsque l'intensité du clic augmente, la stimulation des fibres externes est plus franche, donc le délai dans leur réponse plus court et leur synchronisation plus nette. La réponse globale apparaît donc plus tôt et elle est plus rapide.

Puis le niveau de stimulation devient suffisant pour commencer à exciter également les structures internes qui sont mécaniquement moins sollicitables par la vibration. D'autre part, chaque cellule ciliée interne va déclencher une dizaine de fibres, sans délai puisqu'il n'y a pas de sommation spatiale et que le trajet amyélinisé est très court. Aux très fortes intensités toutes les fibres externes et internes sont stimulées simultanément ; mais les fibres internes étant beaucoup plus nombreuses que les externes, leur réponse constitue l'élément le plus important dans la réponse globale.

Cependant deux caractéristiques permettent de déceler dans cette réponse globale la présence des réponses déclenchées par les structures externes :

— aux alentours de 50 dB, le plateau de la courbe amplitude voire la diminution de celle-ci en passant de 50 à 60 ou de 60 à 70 dB est l'image du mélange des réponses de la quasi totalité des fibres déclenchées par les cellules ciliées externes et des premières réponses des fibres excitées directement par les cellules internes. Ces deux groupes n'étant pas synchronisés de la même manière, la diminution de l'amplitude traduit leur synchronisation différente. Cependant la latence continue de diminuer régulièrement. L'accident de la courbe amplitude ne se retrouve donc pas sur la courbe latence, mais cela est dû en partie au mélange des réponses aux deux stimulations de phase opposée (voir PEAKE et KIANG, 1962).

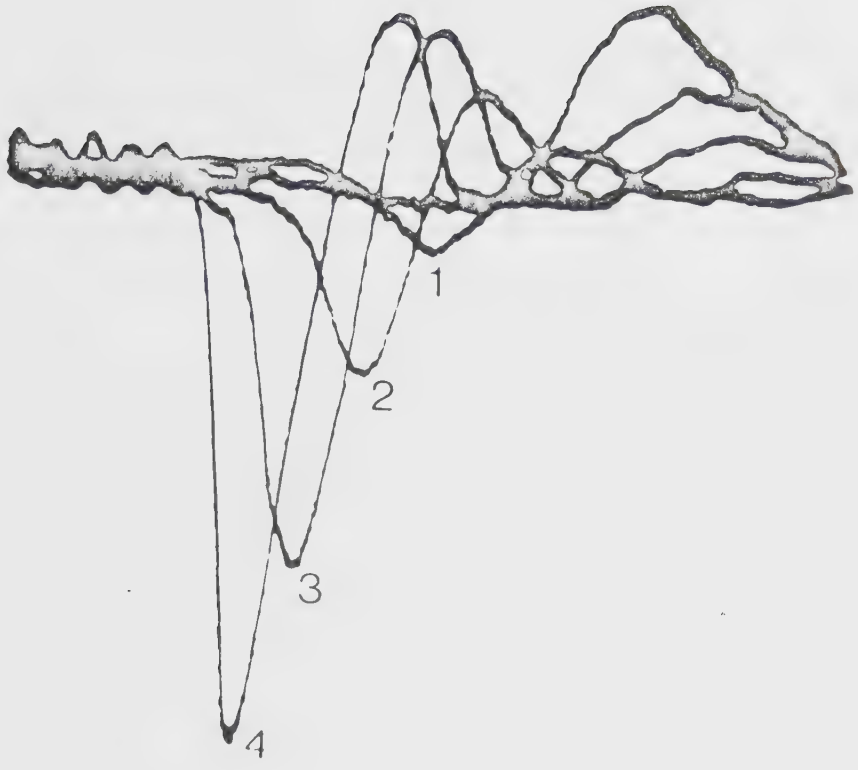


FIG. 55 - Réponses globales enregistrées chez le cobaye pour des clics haute fréquence d'intensités croissantes de 10 en 10 dB (de 1 à 4) superposées. Bien qu'il ne s'agisse pas ici de réponses unitaires, cette figure permet d'expliciter le mécanisme de l'élaboration de la réponse globale au clic aux fortes intensités. En effet ces réponses rapides (clic aigu) considérées séparément sont faites des réponses bien synchronisées d'un ensemble de fibres ayant une latence identique. Supposons alors, mais ce n'est pas le cas ici, que ces différentes réponses proviennent effectivement de 4 groupes de fibres différents et que ces 4 groupes sont recrutés simultanément par la même stimulation (clic non filtré à une forte intensité par exemple), alors ces réponses vont s'additionner pour constituer la réponse globale et on voit comment les pics négatifs tardifs des réponses des groupes 1 et 2 vont se retrancher des rebondissements positifs des réponses plus rapides et plus précoces des groupes 3 et 4. Ce rebondissement positif sera annulé, la réponse globale ne présentera plus que le premier pic négatif et sera donc monophasique.

— bien qu'aux fortes intensités la réponse soit surtout composée des réponses des fibres excitées par les cellules ciliées internes, on retrouve, dans le caractère monophasique de la réponse globale la présence des réponses plus tardives des fibres excitées par les structures externes. Les pics négatifs de ces dernières se retranchent du rebondissement positif des réponses précoces (Fig. 55). Si ces réponses tardives étaient absentes, la réponse globale présenterait un caractère diphasique. C'est le cas des réponses recrutantes.

33.— REPONSES RECRUTANTES

Si on considère les courbes entrée-sortie amplitude-latence on constate que, par rapport aux courbes normales, seules les parties correspondant aux fortes intensités sont présentes. A l'inverse des surdités de transmission pures où l'on observe à la fois un décalage du seuil et des courbes, ici il n'y a pas de décalage des courbes vers la droite sur le graphique, mais absence de la première partie : la courbe "L" (low) de YOSHIE et la partie correspondante de la courbe latence. Malgré le seuil élevé on a donc quelques décibels au-dessus rattrapage de la courbe normale et donc un phénomène comparable, sur le plan neurophysiologique, au recrutement sur le plan subjectif. Sans discuter la signification exacte du terme recrutement, soulignons que nous appelons ces réponses "recrutantes" pour dire que la réponse rattrape, dès les niveaux supra-liminaires, la réponse normale, au même titre que la sensation sonore rattrape celle du sujet normal (voir LAGOURGUE, 1970).

La présence de recrutement sur le plan audiométrique est le signe d'une atteinte des cellules ciliées externes (DIX, 1965 ; HOOD, 1969 ; DAVIS, 1957). En particulier ce phénomène est présent dans les cas de traumatismes sonores et dans les cas d'intoxication médicamenteuse (en particulier les antibiotiques ototoxiques) (SALMIVALLI, 1967 ; LIDEN, 1954), ces deux agents affectant en priorité les cellules ciliées externes.

Dans les cas qui nous intéressent, où le recrutement peut se mesurer pratiquement sur toutes les fréquences et où l'audiogramme relativement plat objective une atteinte répartie sur toute l'étendue du spectre, il y aurait donc lésion des structures externes (cellules ciliées et/ou fibres nerveuses) tout le long de la membrane basilaire depuis la base (aigus) jusqu'à l'apex (graves). L'altération de ces structures externes entraînant la disparition du premier mécanisme de stimulation des fibres du nerf auditif aux faibles intensités.

En effet l'absence de réponses aux faibles intensités et le fait que la latence des réponses lorsque le seuil est atteint soit brève indiquent que seul le second mécanisme, responsable de l'activation des fibres aux fortes intensités, est présent. Le fort contingent de fibres "internes" (95 % de l'ensemble des fibres) qui est relié aux cellules ciliées internes (moins sensibles mécaniquement) est déclenché lui aux fortes intensités et est bien synchronisé (pas de sommation spatiale et court trajet amyélinisé). La réponse aux fortes intensités est nettement diphasique car elle n'est constituée que des réponses rapides et bien synchronisées déclenchées par ce second mécanisme : les réponses tardives étant absentes, rien ne vient se retrancher du rebondissement positif qui peut ainsi apparaître.

D'une manière générale, on peut dire que plus la réponse est rapide, diphasique, et plus sa latence reste constante aux différentes intensités de stimulation, plus on a affaire à un seul groupe de fibres identiques. Ainsi si, dans les réponses recrutantes le premier mécanisme sensible (externe) est globalement affecté, le second mécanisme (interne) peut être totalement ou partiellement préservé. Ainsi entre les exemples N° 155 ou 238 (pp. 74-75), où l'audiogramme est aux alentours de 50 dB avec un seuil des réponses au même niveau, et les exemples N° 190 et N° 243 (pp. 78-79), où le seuil est élevé vers 90 dB, la situation au niveau des structures internes doit être très différente. Autant dans les premiers cas, on peut considérer qu'elles sont intactes, autant dans les deux autres cas elles sont elles-mêmes vraisemblablement en grande partie également

lésées. Dans ce cas là, les réponses, très nettement recrutantes, sont d'amplitude très faible et il est certain qu'il ne reste qu'un très faible contingent de fibres très semblables, donc très localisées

34.– COMPARAISON AVEC L'EFFET DE MASQUE

En fonction de ces interprétations, il est intéressant de comparer les réponses obtenues dans les cas typiques recrutants avec les réponses obtenues chez un sujet normal lorsque, simultanément à la présentation du clic, on présente un bruit blanc masquant.

Un tel bruit blanc, de niveau sonore moyen (60 à 70 dB) stimule continuellement les éléments nerveux les plus sensibles de telle sorte qu'ils ne peuvent être stimulés par le clic occasionnel. Les autres éléments moins sensibles, répondant à des clics plus intenses, seront stimulés par ceux-ci puisqu'ils ne seront pas stimulés par le bruit blanc d'intensité insuffisante. On devrait alors avoir, en principe, une situation comparable, sur le plan de l'excitabilité des fibres, à celle que l'on suppose dans les oreilles pathologiques recrutantes.

Nous avons donc, pour trois oreilles normales, chez l'enfant N° 219 (2 ans et demi, retard de langage, oreille droite et oreille gauche) et l'adulte N° 213 (oreille gauche) (voir p. 93) enregistré les réponses au clic non filtré dans le silence (A) et en présence de bruit blanc à 60 dB (B) et 70 dB (C) (Fig. 56 à 58) En présence de bruit masquant, les caractères comparables aux caractères des réponses recrutantes sont : l'élévation du seuil et la latence courte au seuil. Ainsi pour l'enfant n° 219, à l'oreille gauche, le seuil s'est élevé de 5 à 45 et 55 dB et les latences sont plus courtes: au lieu de 4,7 ms à 5 dB dans le silence (A), on a : 2,5 (B) et 2,1 (C) à 45 et 55 dB dans le bruit. A 85 dB les latences sont identiques : 1,6 msec, dans les trois cas.

L'amplitude des réponses pendant le masque n'augmente pas aussi vite que dans les cas recrutants et les courbes sont plutôt

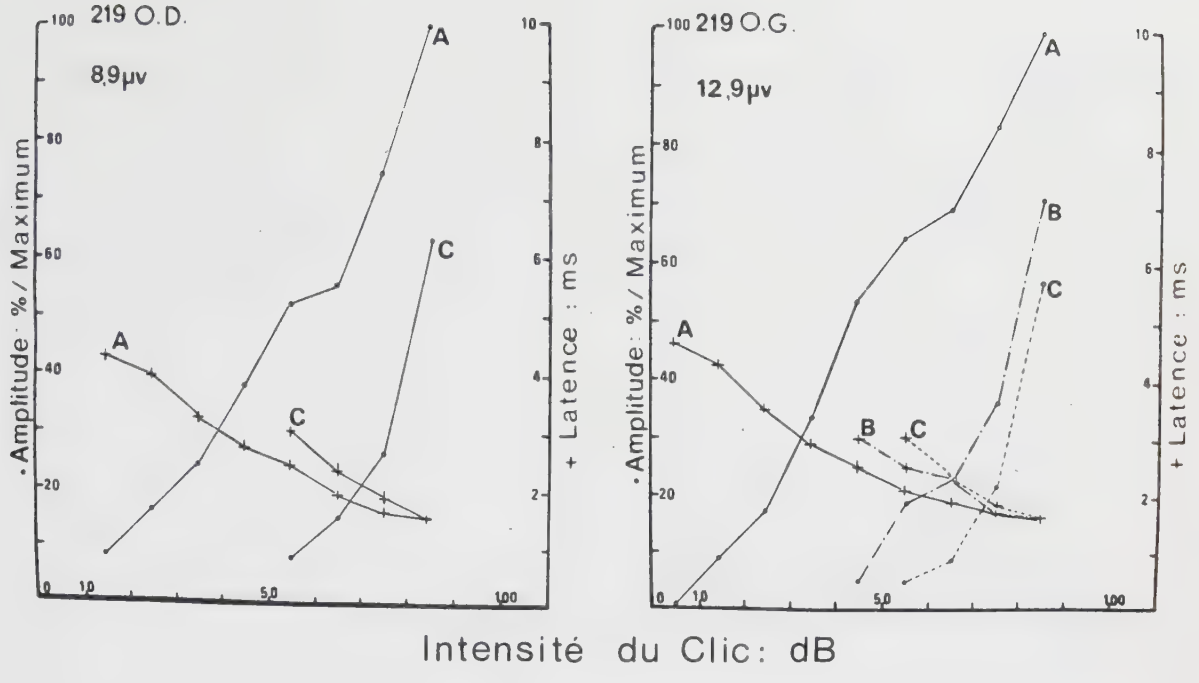


FIG. 56 - Réponses dans le silence (A) et en présence de bruit blanc à 60 et 70 dB (B et C) sur les deux oreilles normales d'un enfant (les réponses pour l'oreille gauche sont représentées sur la figure suivante 57).

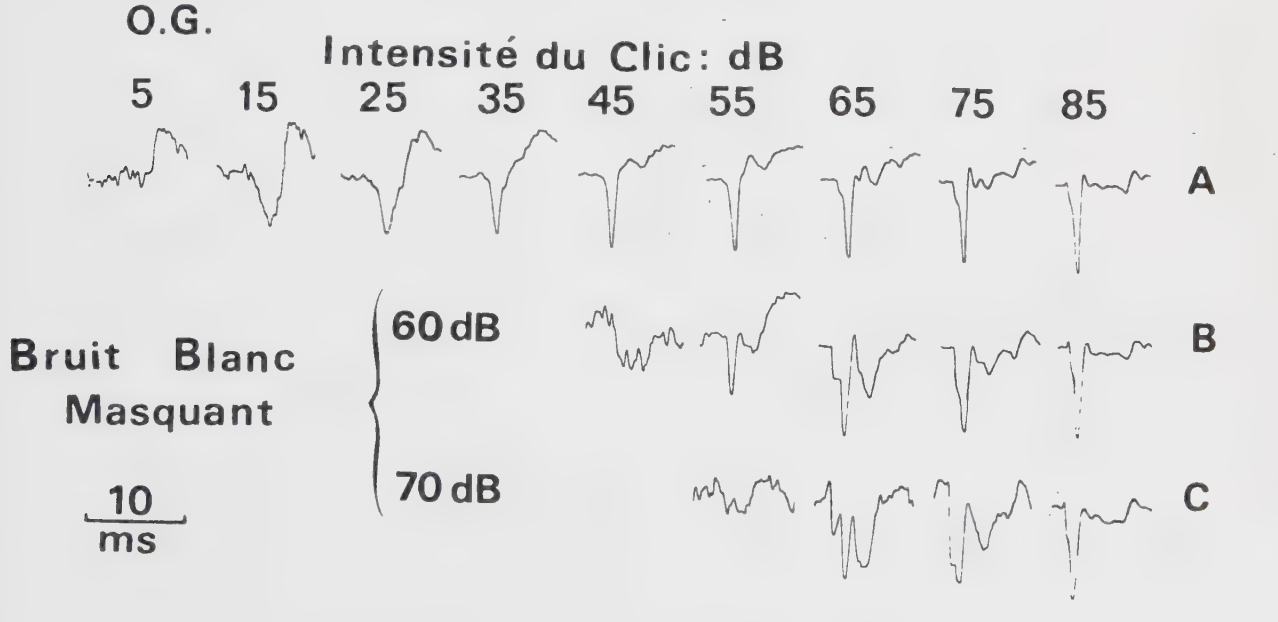


FIG. 57 - Comparaison des formes des réponses au clic dans le silence (A) et en présence de bruit blanc à 60 et 70 dB (B et C) pour l'oreille gauche de l'enfant n° 219. Les amplifications sont ajustées pour que chaque trace ait sensiblement la même dimension. Pour les amplitudes, voir la figure 56 ci-dessus. On constate que le décrochement négatif, devant N1 et N2, sont moins affectés relativement que N1. Les formes à 85 dB sont cependant très semblables et en particulier non diphasiques.

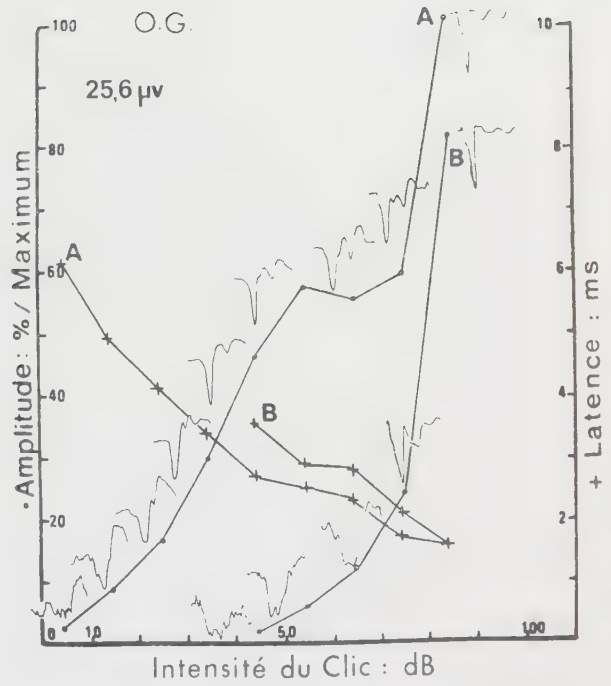


FIG. 58 - Réponses au clic dans le silence (A) et en présence de bruit blanc à 60 dB (B) chez un sujet adulte normal (Voir n° 213 p. 93).

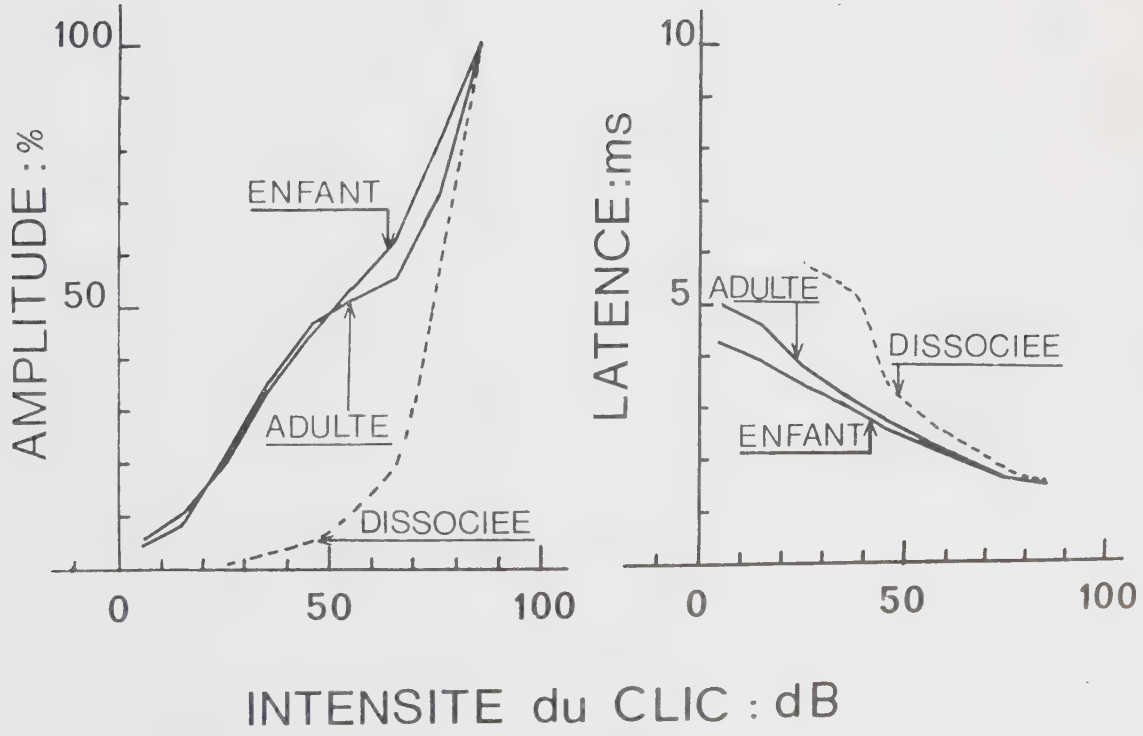


FIG. 59 - Comparaison des courbes entrée-sortie, amplitude et latence, entre l'enfant et l'adulte normaux (voir Fig. 33 et 34, p. 60) et le cas typiquement dissocié.

exponentielles, bien que, de 75 à 85 dB les réponses augmentent de plus de 50 %.

La différence la plus marquée avec les réponses recrutantes est la forme des réponses à 85 dB : bien que les amplitudes soient réduites, les formes sont identiques dans le silence (A) et dans le bruit (B et C). En particulier elles ne sont pas diphasiques (Fig. 57 et 58)

Ces différences peuvent être attribuées au fait que les spectres du bruit et du clic ne sont pas identiques et que donc l'effet de masque ne serait pas le même sur les différentes composantes du clic. D'autre part on comprend qu'une analogie ne peut être poussée très loin entre les conditions anatomo-pathologiques et les mécanismes périphériques physiologiques du masquage. Il apparait en effet que le bruit blanc n'inhiberait pas entièrement l'ensemble des mécanismes neuro-sensoriels des structures considérées.

Une autre observation que l'on peut faire, sans se référer au recrutement, c'est la variation, pendant masquage, des composantes précoces de la réponse, en particulier le décrochement précédant N1 sur la déflexion négative (Fig. 57). Cet élément précoce, qui peut être aussi bien une réponse sensorielle (potentiel de sommation) ou le début de la réponse nerveuse (en particulier le potentiel générateur sur les portions amyélinisées des fibres), est moins affecté par le bruit blanc que le pic N1.

Les mêmes considérations anatomo-physio-pathologiques sur lesquelles est basée l'interprétation des réponses recrutantes s'appliquent dans le second cas typique des réponses dissociées.

35.— REPONSES DISSOCIÉES

Cette catégorie de réponses correspond, sur les plans tant audiométrique qu'électrophysiologique, et donc certainement aussi sur le plan anatomo-physio-pathologique, à une situation intermédiaire entre les réponses normales et les réponses recrutantes.

En effet l'audiogramme se situe entre l'audiogramme normal et l'audiogramme des cas recrutants puisqu'on a là une chute limitée aux aigus et que les graves sont bons.

Or on retrouve les caractéristiques des réponses recrutantes uniquement sur les réponses au clic filtré aigu. Ce dernier n'excitant que la base de la cochlée, on peut affirmer que la situation à ce niveau est la même que celle de toute la cochlée dans les cas précédents, le clic non filtré stimulant l'ensemble de la membrane basilaire. Donc au niveau de la base dans les cas dissociés, les structures externes seraient altérées alors que les structures internes seraient préservées.

Par contre lorsqu'on utilise le clic non filtré, on observe près du seuil une réponse tardive qui proviendrait alors des structures externes des autres tours de la cochlée. Cette réponse est d'autant plus tardive qu'elle ne serait faite que des réponses des structures externes des derniers tours. Dans cette latence, il apparait, outre le délai nécessaire au déclenchement des structures externes, le délai correspondant au temps de propagation de l'onde sonore le long de la membrane basilaire depuis la fenêtre ovale jusqu'à l'apex. Ce délai n'est pas négligeable puisqu'il est de l'ordre de 2 msec.

Donc aux faibles intensités seules les structures externes de l'apex seraient stimulées et cela par les composantes basse fréquence du clic. Par contre, aux intensités supérieures les fibres correspondant aux structures internes sont recrutées et cela aussi bien à l'apex qu'à la base, d'où l'apparition du pic N1. Aux niveaux intermédiaires on observe très clairement simultanément la réponse tardive des structures externes de l'apex et le début de la réponse plus précoce des structures internes.

La forme monophasique ou diphasique de la réponse aux fortes intensités semble dépendre de l'importance des réponses tardives par rapport aux réponses précoces dans l'élaboration de la réponse globale. En d'autres termes, cela dépend de l'importance relative des lésions des cellules ciliées externes et de leur localisation par rapport au contenu fréquentiel du clic non filtré, lésions

plus précisément objectivées par le niveau de la courbe audiométrique aux différentes fréquences.

Le cas N° 210 (page 86) illustre bien cela en effet pour l'oreille droite où la chute est localisée au 8000 Hz, les réponses sont voisines de la normale, mais une légère dissociation apparait (le seuil au clic filtré 9600 est trouvé à 60 dB), et la réponse à 105 dB est monophasique. Par contre, pour l'oreille gauche où la chute est marquée dès 2000 Hz, on se rapproche au contraire des réponses recrutantes et la forme de la réponse à 105 dB est diphasique. Les réponses au clic, bien que peu typiquement dissociées, ont des caractères beaucoup moins recrutants que les réponses au clic filtré aigu qui sont plus rapides, plus diphasiques,de seuil élevé et de latence au seuil courte (voir également le cas n° 186, page 82)

En résumé, on observe des étapes intermédiaires depuis les réponses normales jusqu'aux réponses typiquement recrutantes en passant par différents degrés de dissociation des réponses correspondant à différents degrés d'atteintes auditives tant en ce qui concerne les niveaux des seuils que la gamme des fréquences atteintes.

En effet, par exemple, on observe déjà une différence entre les oreilles normales des enfants et des adultes. Comme mentionné plus haut (page 63), chez l'adulte normal la latence au seuil est plus longue que chez l'enfant et le plateau est plus prononcé. Si on compare avec les courbes typiquement dissociées (Fig. 59), on constate qu'en fait chez l'adulte normal on assiste à un tout début de dissociation correspondant donc, selon l'interprétation proposée, à une atteinte - certes très légère - du premier tour de la cochlée. Or cela correspond bien à un début de vieillissement de la cochlée (presbyacousie) qui, comme on le sait, commence par des altérations des structures externes de la base.

Il y a donc une relation certaine entre l'état de l'organe de Corti, la courbe audiométrique et les formes des réponses et des courbes électro-cochléographiques. Cependant, il parait difficile d'établir des corrélations plus précises car la courbe audiométrique tonale liminaire de l'oreille testée n'est qu'une des carac-

téristiques qui participent toutes à l'élaboration de l'ensemble des données électro-cochléographiques, la courbe audiométrique faisant intervenir par ailleurs d'autres éléments (centraux et subjectifs) indépendants du fonctionnement de l'oreille et non pris en compte dans l'électro-cochléographie.

Nous pouvons donc conclure, en fonction des données actuelles sur le fonctionnement du récepteur périphérique et des observations humaines de ces réponses normales, recrutantes et dissociées, qu'il existe deux mécanismes particuliers de stimulation des fibres nerveuses sur le plan dynamique (faibles et fortes intensités) comme sur le plan fréquentiel (graves-aigus). Les images électro-cochléographiques obtenues sont en effet représentatives d'atteintes localisées (réponses dissociées) ou globales (réponses recrutantes) de la dynamique cochléaire. Si on admet que ces mécanismes se situent sur le plan radial (externe-interne) pour la dynamique et longitudinal (base-apex) pour les fréquences, les réponses dissociées seraient l'image de lésions des structures sensorielles ou nerveuses externes de la base alors que, dans le cas des réponses recrutantes, ces lésions des structures externes s'étendraient tout le long de la membrane basilaire, les structures internes quant à elles seraient préservées au moins partiellement dans les deux cas.

Enfin de ces types de réponses, il faut retenir essentiellement qu'ils reflètent uniquement un déficit anatomique au niveau des structures de l'oreille interne (manifesté par leur silence lors de la stimulation) mais que les structures restantes fonctionnent normalement, cela par opposition aux autres types de réponses qui semblent manifester, outre un déficit anatomique éventuel, un disfonctionnement des structures restantes.

36.– REPONSES LARGES ET ANORMALES

Bien que les réponses de ce type n'aient été rencontrées que dans 17 % des cas, elles constituent, sur le plan pathologique, un domaine beaucoup plus vaste et complexe que les types précédents. Ce sont des réponses dont les formes sont plus éloignées de la normale, et en particulier dans lesquelles il est difficile de retrouver la forme de l'élément de base qui est la réponse rapide, diphasique, unitaire.

En effet, les réponses décrites précédemment - recrutantes et dissociées - ne sont que des réponses normales amputées de certains éléments qui correspondent au silence de certaines structures atteintes (donc vraisemblablement détruites). A l'opposé de ces réponses normales par ailleurs, il apparait un certain nombre de réponses qui ne peuvent s'expliquer par de simples considérations de destructions localisées ; elles paraissent traduire essentiellement un disfonctionnement des structures sensorielles et nerveuses.

Evidemment il est difficile d'établir une frontière nette entre ces réponses para-normales et les réponses distordues telles les larges et anormales. Cependant il semble qu'il existe une situation intermédiaire représentée par les formes plus ou moins élargies que l'on rencontre dans certains cas de troubles vasculo-tensionnels du labyrinthe par opposition aux formes très larges et anormales rencontrées lors de pathologie rétro-labyrinthique certaine.

361.– Troubles vasculo-tensionnels du labyrinthe

Dans les cas qui ont été décrits de maladie de Ménière vraie ou de syndrome "Ménièriforme", les réponses présentent, sur le plan des courbes entrée-sortie amplitude-latence, les caractéristiques recrutantes ou dissociées (généralement en accord avec l'audiogramme) mais, sur le plan de la forme des réponses, une largeur qui excède nettement celle de la réponse normale,

Il apparait que, dans ces cas-là, il existe d'une part un déficit anatomique, dont la localisation correspondrait, suivant

la forme des courbes entrée-sortie et celle de l'audiogramme, aux localisations suggérées plus haut, d'autre part, simultanément, un disfonctionnement des structures restantes mis en évidence par la durée anormalement longue de la réponse.

Cela suggère que les fibres continuent à répondre pendant un temps anormalement long après la stimulation, soit à cause d'une prolongation de la stimulation sonore elle-même au niveau de la membrane basilaire, soit à cause d'un défaut d'inhibition au niveau des cellules ciliées ou des fibres nerveuses, inhibition que l'on pense être constamment entretenue par des phénomènes sensoriels (potentiel de sommation) ou nerveux (par le système efférent).

Il est certain que, dans les cas de maladie de Ménière vraie, l'hydopisie endocochléaire modifie de nombreux facteurs qu'il est difficile d'isoler. En particulier les études histologiques montrent dans ces cas-là une destruction des cellules ciliées externes cela en même temps que les études audiométriques révèlent la présence de recrutement qui semble une constante caractéristique de ces malades. Cependant il existe un facteur qu'il est facile d'imaginer : c'est celui des caractéristiques mécaniques de la membrane basilaire, qui sont très certainement modifiéespar l'hyper-pression endocochléaire. La forme large des réponses pourrait ainsi être l'image d'une stimulation étalée des fibres, due à une distorsion mécanique de l'onde propagée.

Cependant, si ce facteur peut intervenir en partie, ou à un certain stade précoce de la maladie, il semble que, comme pour les autres cas de réponses élargies ou anormales, le facteur essentiel soit un désordre vasculaire qui serait ici soit à l'origine des troubles, soit induit par ceux-ci, l'hyperpression entraînant certainement une contrainte au niveau de la micro-vascularisation de l'organe de Corti.

362.— Pathologie rétro-labyrinthique

Dans tous les autres cas où nous avons rencontré des formes élargies et anormales et pour lesquels le diagnostic était par ailleurs indépendamment établi, il s'agissait de troubles rétro-cochléaires souvent d'origine purement vasculaire, ou bien d'origine nerveuse par tumeur au niveau du paquet acoustico-facial à sa sortie dans le conduit auditif interne. Rappelons que dans quelques cas de troubles centraux essentiellement nerveux (dégénérescence du tronc cérébral) ou par tumeur plus éloignée les réponses étaient normales.

Ainsi dans les formes larges et anormales, nous trouvons exclusivement, en dehors des cas où le diagnostic ne pouvait être posé : des troubles vasculaires, des tumeurs du VII et du VIII dans le conduit auditif interne et des ictères nucléaires.

Bien que le caractère rétro-labyrinthique des lésions responsables semble ainsi assez bien démontré, on ne peut affirmer que l'inverse est vrai, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de lésion rétro-labyrinthique sans formes anormales, comme on vient de le rappeler. Toutefois la comparaison des groupes étiologiques avec d'autres causes de surdité est intéressante. Ainsi par exemple chez l'enfant les surdités par embryopathie rubéolique ne présentent jamais, lorsqu'une réponse peut être observée, des formes anormales ; or on sait que cette affection porte essentiellement sur les cellules formatrices du labyrinthe périphérique et non pas des voies nerveuses correspondantes (HEMENWAY et al., 1969) alors que l'ictère nucléaire porterait en principe d'abord sur les noyaux centraux, dont les noyaux cochléaires (voir GOLDSTEIN et al., 1972).

Cependant dans tous les cas où ces réponses très larges et anormales sont observées on peut dégager comme dénominateur commun, outre l'altération nerveuse proprement dite, une altération au niveau de la vascularisation de l'organe périphérique. D'abord, il s'agit des cas où le trouble vasculaire est le premier responsable de la lésion ; ensuite ce sont les compressions - soit dans les cas de maladie de Ménière décrits plus haut - soit lors des neurinomes dans le conduit auditif interne - qui affectent nécessairement

l'artère auditive interne (dans le Cas n° 358 où les réponses étaient normales, le neurinome comprimait le nerf auditif plus haut - voir page 113). Enfin, ce sont les ictères nucléaires où l'éclatement des globules rouges peut avoir entraîné une oblitération des capillaires de l'organe de Corti. Il est à noter que les lésions manifestées par ces formes de réponses semblent irréversibles, puisque, autant pour l'ictère nucléaire que pour le cas n° 104 où l'opération du neurinome du VII avait permis de décomprimer le VIII, les réponses sont identiques après stabilisation.

Neanmoins si l'origine de ces troubles irréversibles peut être considérée comme essentiellement vasculaire, on peut penser que le nerf auditif, au même titre que l'organe sensoriel, est lésé, en particulier au niveau du système efférent, comme semblent le montrer les expérimentations récentes de DAIGNEAULT et al. (1970) qui obtenait, chez le chat, des formes élargies après section du seul faisceau efférent (anastomose de Oort), et celles de KUPPERMAN (1972) lors d'électro-coagulations des noyaux cochléaires ou de sections du VIII pratiquées de telle sorte que l'artère auditive interne soit préservée. Dans ces cas-là, KUPPERMAN obtenait d'ailleurs des formes très comparables aux formes anormales que nous avons observées chez l'homme, c'est-à-dire des réponses élargies précédées d'un pic positif.

Ce pic positif précoce parait être l'image d'un fonctionnement anormal au niveau sensoriel. En effet, il peut s'interpréter comme étant un potentiel récepteur d'origine sensorielle (potentiel de sommation ou assymétrie du potentiel microphonique cochléaire, celui-ci ne s'éliminant pas complètement lors de l'inversion de la stimulation).

En fait, ce potentiel récepteur, nettement visible sous la forme d'un pic positif précoce, apparait soit en réponse au clic non filtré comme dans les cas de réponses anormales, soit uniquement en réponse au clic filtré aigu dans d'autres cas (n° 185, 131, pages 92-109). Dans ces cas-là, la réponse au clic filtré 4800 Hz présente une déflexion brutale négative. Dans le cas n° 104 (page 95), le pic positif est présent sur les réponses aux clics filtrés 9600 et

4800 Hz alors que pour les autres stimulations on observe la déflexion brutale négative. Cela indique que l'origine de cette réponse précoce est l'organe de Corti et qu'elle peut être localisée à différents tours. Ainsi elle serait l'image d'une altération de l'organe de Corti localisée à la base lorsqu'elle n'apparait que pour le clic filtré aigu ou étendue sur une grande partie de la membrane basilaire lorsqu'elle apparait sur les réponses au clic non filtré.

Cette altération du fonctionnement de l'organe de Corti peut cependant être d'origine purement nerveuse si on admet que les lésions se situent au niveau du système nerveux, en particulier du système efférent qui, on le sait, au vu du très grand nombre de terminaisons qu'il possède sur les cellules sensorielles, doit très certainement régir leur fonctionnement.

37.— LES CAS INTERMEDIAIRES

Comme nous l'avons souligné, il existe, tant sur le plan audiométrique que sur celui des réponses électro-cochléographiques, des situations intermédiaires, en particulier entre les cas normaux, recrutants et dissociés.

Les quelques exemples cités (page 108) vont permettre de montrer comment chaque cas particulier peut être interprété en fonction des cas typiques et des conditions anatomopathologiques auxquelles ils correspondent.

Comme premier exemple nous pouvons prendre l'oreille gauche du Cas n° 186 (page 82) qui a été décrite en même temps que l'oreille droite de ce même sujet dans le paragraphe sur les réponses dissociées (page 80).

Alors que l'audiogramme (chute sur le 4000 Hz) et les réponses de l'oreille droite sont typiquement dissociées, il est intéressant de comparer l'audiogramme et les réponses de l'oreille gauche. En effet, sur cette oreille la chute est sur les fréquences moyennes alors que vers les graves et vers les aigus la courbe remonte. Les réponses électro-cochléographiques sont recrutantes si on

considère l'augmentation rapide de l'amplitude et la forme diphasique des réponses, mais pas recrutantes si on considère la latence qui varie de 3 à 1,6 msec. On note en outre que le seuil au 9600 Hz (à 30 dB) est 30 dB au-dessus du seuil au clic (60 dB). Cela met en évidence la remontée sur les aigus.

Sur le plan anatomo-pathologique, cela indique que les structures externes sont atteintes sur une grande partie de la membrane basilaire, sauf à l'extrême base et à l'apex. Les réponses de cette faible proportion de structures externes seraient à l'origine de la latence plus longue au seuil que dans les cas recrutants. Cette proportion étant relativement faible, on aurait, en réponse au clic, à part ces quelques réponses tardives, des réponses recrutantes provenant des autres régions de la membrane basilaire entre la base et l'apex, correspondant aux fréquences moyennes, et où les structures externes seraient atteintes (voir aussi le cas n° 210, page 86).

Pour le cas n° 123 (page110) (chute d'audition sur les graves), la dissociation des réponses proviendrait du fait que seules les structures externes des premiers tours répondraient aux faibles intensités du clic. Le démarrage des réponses plus précoces et plus nettes à 60 dB correspondrait à la mise en jeu des structures internes pour l'ensemble des tours. Il est vraisemblable que c'est à ce niveau de 60 dB que l'on aurait trouvé le seuil au clic filtré 500 Hz.

De même pour le cas n° 171 (page108) qui présente sur l'audiogramme des chutes à 2000 et 8000Hz, la dissociation proviendrait de l'absence de structures externes en différentes régions de la membrane basilaire.

Dans le cas n° 131 (page109), outre les réponses dissociées, on note la présence d'un pic positif important sur la réponse au clic filtré aigu. On a donc ici, sur le plan des courbes entrée-sortie, des caractéristiques dissociées révélant l'atteinte partielle des structures externes (vraisemblablement pour les derniers tours

de la cochlée correspondant aux graves qui sont, audiométriquement les fréquences les plus atteintes) et sur le plan des formes des réponses des caractéristiques rappelant les formes anormales (au moins pour le 9 600, c'est-à-dire à la base de la cochlée) telles qu'on les observe dans les cas de troubles vasculaires.

38.— SENSATION AUDITIVE ET FONCTIONNEMENT DU RECEPTEUR

Il n'est évidemment pas question ici, à partir de ce premier travail, d'envisager toutes les caractéristiques de l'audition telles que les mesures psycho-physiques permettent de les étudier. Par contre, on peut envisager des caractéristiques très générales telles que les sensations d'intensité, de hauteur, et la compréhension du langage qui sont schématiquement étudiées en audiométrie courante.

D'emblée, il apparait que la grande majorité des troubles de la sensation auditive sont d'origine périphérique. Ainsi le recrutement, comme cela était déjà admis, apparait nettement comme une modification de la dynamique cochléaire. De même un grand nombre de modifications de la sensibilité en fréquence de l'audition donnent des images caractéristiques au niveau des réponses du nerf auditif et sont imputables à des altérations de l'organe de Corti. De même également un grand nombre de troubles de la compréhension, tels qu'on les mesure en audiométrie vocale, paraissent liés à des distorsions prenant naissance dans l'organe périphérique et dans le nerf auditif et manifestées par les formes élargies et anormales des réponses enregistrées dans ces cas-là. En particulier lorsque, par exemple chez un jeune enfant, on trouve ces réponses anormales, on peut, même lorsque les seuils sont par ailleurs relativement bons, prévoir de grosses difficultés dans l'apprentissage du langage qui seront, malgré une rééducation bien menée, difficiles à surmonter. Enfin dans tous les cas (surdités centrales, aphasies, troubles psychogènes) où les réponses que l'on observe au niveau du nerf auditif sont normales ou para-normales (telles les recrutantes ou dis-

sociées) alors que la sentation auditive est, soit absente, soit distordue, on peut affirmer que les lésions se situent au-delà du nerf auditif. Cela revêt une importance capitale tant dans l'établissement du diagnostic que dans l'orientation de la thérapie. En effet quand chez l'enfant on observe des réponses normales, autant on ne peut assurer que l'audition est normale, autant on peut certifier que l'organe périphérique est normal et ainsi éviter une amplification prothétique qui, plus qu'inutile, serait dangereuse, et orienter les recherches diagnostiques vers des altérations organiques ou psychiques du système nerveux central.

Les résultats que nous avons obtenus nous permettent donc de montrer l'intérêt de l'observation de l'activité du nerf auditif chez l'homme. Si dans notre travail, nous nous sommes surtout attaché à dégager de la pathologie courante certaines caractéristiques, c'est que la demande sur le plan du diagnostic, de la part des responsables des soins médicaux en service O.R.L., était considérable. Nous pensons avoir contribué à améliorer leurs moyens d'investigation clinique en même temps que leur compréhension des mécanismes normaux et pathologiques de l'audition dans sa portion périphérique. De telles observations permettront certainement d'étudier plus à fond ces phénomènes. Ainsi l'attention a déjà pu être étudiée en observant simultanément les réponses du nerf auditif au niveau du conduit auditif externe et les potentiels évoqués au niveau du Vertex. L'attention modifie ces derniers alors que les phénomènes périphériques demeurent inchangés (PICTON et al., 1971).

DEUXIEME PARTIE

VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE

INTRODUCTION

Les nombreux enregistrements que nous avons effectués pendant plusieurs années sur les malades qui nous étaient adressés par le Service O.R.L. nous ont permis d'observer des réponses du nerf auditif très diversifiées dans une très large gamme de situations pathologiques.

Il faut remarquer d'emblée qu'une telle variété de réponses n'avait jamais été observée au cours des nombreuses recherches expérimentales chez l'animal. Cela principalement pour deux raisons :

- D'une part, grâce à l'utilisation du moyenneur, nous avons réalisé chez l'homme des enregistrements des réponses du nerf auditif d'une grande précision. Malgré la position de l'électrode sur le promontoire au lieu de la fenêtre ronde, la qualité des enregistrements s'est révélée meilleure chez l'homme qu'elle ne l'avait été la plupart du temps chez l'animal. Ainsi nous avons pu centrer notre attention sur la forme des réponses et ses variations plutôt que simplement sur le *seuil* des réponses, mesure à laquelle un souci d'audiométrie purement liminaire et une moins bonne qualité des enregistrements nous auraient limité.

- D'autre part, nous avons disposé effectivement chez l'homme d'une gamme de situations pathologiques très étendue, et

celles-ci ont été évidemment très étudiées sur le plan clinique. Chez l'animal au contraire on s'est surtout intéressé à l'étude fondamentale du fonctionnement du récepteur périphérique normal. En outre, à cause de l'absence de manifestations spontanées des troubles éventuels - manifestations qui constituent chez l'homme l'ensemble des données cliniques - les mêmes altérations pathologiques qui doivent se produire chez l'animal comme chez l'homme sont passées le plus souvent inaperçues. Enfin toutes les recherches sur la pathologie expérimentale ont été conduites avec le souci de réaliser des lésions bien précises et bien localisées de l'oreille. Or chez l'homme, et c'est là notre problème dans l'interprétation des réponses, les conditions dans lesquelles les modifications pathologiques se produisent et la localisation des lésions sont souvent mal connues et si nous pouvons, mieux que chez l'animal, mesurer les altérations de la sensation auditive, l'ensemble des examens, dont le test que nous venons de décrire, ont pour principal objectif de répondre à ces questions.

Ces observations chez l'homme ouvrent donc de nouvelles perspectives dans l'étude expérimentale du fonctionnement du récepteur périphérique. Elles mettent en effet en évidence la quantité d'informations que le potentiel d'action global du nerf auditif peut contenir. Elles montrent aussi l'étendue des questions qui se posent dans l'interprétation des différents types de réponses. Enfin, à travers les modifications pathologiques un certain nombre de phénomènes intervenant dans la transposition du signal sonore en signal nerveux semblent pouvoir être isolés et étudiés mieux que sur les réponses d'un organe récepteur normal.

Ce champ d'investigations est très vaste et de nombreux travaux seront nécessaires avant qu'on ait pu reproduire chez l'animal toutes les formes pathologiques observées chez l'homme et établir une relation étroite entre ces formes et la nature et la localisation des lésions qu'elles doivent en principe refléter.

Certes un tel travail serait grandement facilité si, à côté des observations cliniques et électro-cochléographique, on

pouvait disposer, dans un grand nombre de cas, des cochlées correspondantes, ainsi qu'ont pu en observer JOHNSSON et HAWKINS (1967) et BREDBERG (1968) par exemple. Inversement il aurait été intéressant de disposer des enregistrements électro-cochléographiques sur les cochlées qu'ils ont pu observer.

Cependant de telles observations simultanées ne pourraient être qu'occasionnelles et ne sauraient remplacer l'expérimentation animale maintenant que, grâce aux enregistrements chez l'homme, nous pouvons inférer, des formes des réponses, la qualité de la sensation auditive correspondante.

Dans ce travail chez l'animal nous n'avons pas l'intention de répondre à toutes les questions posées dans l'interprétation des réponses. Nous voulons surtout montrer l'intérêt de l'étude du potentiel d'action global du nerfauditif chez l'animal non seulement dans ce domaine de l'interprétation des formes pathologiques observées chez l'homme, mais encore, d'une manière plus générale, dans l'étude du fonctionnement du récepteur auditif. Cette approche globale, permettant d'observer le fonctionnement de l'ensemble du récepteur, nous parait en effet très utile par rapport aux approches discrètes que sont les études électrophysiologiques unitaires et les études ultrastructurales. En même temps nous avons voulu contrôler certains protocoles et paramètres de la méthode utilisée chez l'homme.

Au niveau des réponses normales nous avons d'emblée remarqué certaines différences importantes entre l'homme et l'animal, en particulier en ce qui concerne la latence et l'amplitude des réponses. Désirant savoir dans quelle mesure les observations sur l'animal, en particulier sur le cobaye, pouvaient être reliées aux observations chez l'homme, nous avons entrepris d'observer et de comparer les réponses normales chez l'homme, le singe et le cobaye, afin de préciser les caractères communs, les différences éventuelles et les raisons de ces différences, sachant que les cochlées, sur le plan de l'organisation tout au moins, sont très semblables. Les observations sur le singe normal nous ont paru très souhaita-

bles en tant qu'élément de comparaison intermédiaire entre l'homme et le cobaye.

Puis sur le cobaye normal nous avons essayé d'approfondir les mécanismes intervenant dans la genèse de la réponse globale, surtout en ce qui concerne les réponses aux clics filtrés basse fréquence. En effet ces réponses sont difficiles à observer chez l'homme en raison de leur très faible amplitude. Chez le cobaye par contre ces signaux sont plus nets et on dispose de différents moyens de les enregistrer et entre autres de séparer les composantes sensorielles (microphonique cochléaire) et nerveuses. Nous avons ainsi étudié dans le détail les réponses à ces clics filtrés basse fréquence dont la genèse, en raison de la période réfractaire des fibres du nerf auditif, est tout à fait différente de celle des réponses au clic non filtré ou aux clics filtrés aigus. Dans le cadre de cette étude nous avons ensuite vérifié la spécificité des stimulations et des réponses, spécificité qu'il était nécessaire de démontrer pour l'utilisation clinique de ces stimulations.

Sans vouloir essayer de préciser, par les expérimentations animales, la signification de toutes les formes pathologiques de réponses observées chez l'homme, nous avons voulu vérifier une des hypothèses sur le fonctionnement du récepteur, hypothèse sur laquelle est basée notre interprétation des réponses normales, recrutantes et dissociées. Ces deux derniers types pathologiques manifestent rappelons-le, le silence (ou l'absence) de certaines structures cochléaires, les structures préservées fonctionnant normalement. Cette hypothèse, souvent proposée mais non encore explicitement admise, concerne la dualité des structures réceptrices. Bien que cette dualité, évidente sur les plans anatomique, audiométrique et électrophysiologique global, n'ait pas été encore démontrée au niveau des réponses unitaires des fibres du nerf auditif, en dehors des toutes récentes observations de KIANG et MOXON (1972) (voir page 135), l'hypothèse que les deux types de structures : externes et internes sont effectivement responsables des sensibilités aux faibles et aux fortes intensités respectivement a été souvent avan-

cée (DAVIS, 1958, 1962). Nous avons voulu la vérifier de nouveau en essayant de reproduire, chez le cobaye, les réponses recrutantes et dissociées, l'examen des cochlées devant nous permettre d'établir une relation entre les destructions cellulaires et les types de réponses.

Pour cela nous avons fait subir à des cobayes des traitements oto-destructifs affectant préférentiellement les cellules ciliées externes : le traumatisme sonore et l'administration d'antibiotique ototoxique. Ce dernier traitement nous intéressait particulièrement car nous avons déjà eu l'occasion d'étudier cette ototoxicité médicamenteuse dont les mécanismes sont encore mal connus (ARAN et HAWKINS, 1964 ; HAWKINS et al., 1964 ; 1967 ; 1969) et qui font l'objet de nombreuses recherches dans notre Laboratoire (DARROUZET et de LIMA, 1962 ; DARROUZET 1963 ; 1964 ; 1967).

1 – LES RÉPONSES NORMALES CHEZ L'ANIMAL

11- LES RÉPONSES ÉLECTRO-COCHLÉOGRAPHIQUES CHEZ LE SINGE NORMA

Disposant de 5 singes, dont 4 de même espèce (Macaca Mulata)* , nous avons pu réaliser des enregistrements électro-cochléographiques dans des conditions absolument identiques à celles des enregistrements humains. Ces animaux nous ont été confiés avant toute expérimentation par le Laboratoire de Neurophysiologie et présentaient tous les caractères de normalité.

Nous n'avons pu mesurer, par défaut de temps et de compétence, leur audition subjective autrement que par l'observation de réflexes d'orientation en présence de bruits divers. De telles observations, si elles ne garantissaient pas la qualité de leur audition, permettaient d'exclure toute possibilité de surdité prononcée.

Nous n'avons pas non plus pu disposer des cochlées pour l'observation de l'organe de Corti, car leur prélèvement, qui doit se faire très rapidement après la mort de l'animal, n'était pas réalisable lors du sacrifice des animaux après expérimentation dans le Laboratoire de Neurophysiologie. Cependant les enregistrements effectués, très comparables d'un singe à l'autre, présentent, autant sur le plan des seuils que des formes des réponses et des cour-

---

* Grâce à l'obligeance du Pr J.-D. VINCENT (Laboratoire de Neurophysiologie, Pr J. FAURE)

bes entrée-sortie, les caractéristiques classiques des réponses normales du nerf auditif.

111 - Protocole expérimental

Les animaux sont anesthésiés au Nembutal.

Le conduit auditif externe et le tympan sont observés au microscope binoculaire et éventuellement nettoyés. Tous les tympans paraissaient normaux. De la même manière que chez l'homme, l'anneau de fixation est placé autour de l'oreille et l'électrode, dans son porte-électrode, est descendue vers le tympan, le traverse et est fichée sur le promontoire. Le fil élastique est placé dans la gorge du porte-électrode. Les électrodes indifférente et masse sont des aiguilles hypodermiques piquées respectivement derrière l'oreille et sous le scalp dans la région frontale.

Les stimulations sont délivrées en champ libre dans le haut-parleur placé à 70 cm de l'oreille. Elles sont ici exprimées en dB p.e. SPL (voir page 38).

Les caractéristiques de tout le matériel sont les mêmes que pour les enregistrements chez l'homme.

Chez tous les singes on a systématiquement enregistré, pour les deux oreilles, les réponses au clic non filtré et au clic filtré aigu (8000 Hz) à toutes les intensités depuis le seuil des réponses jusqu'à 130 et 125 dB respectivement. En outre, dans quelques cas on a enregistré les réponses également pour les autres clics filtrés 4000, 2000, 1000 et 500 Hz.

112 - Résultats

Nous ne considérons ici que les résultats pour les 4 singes de même espèce, le premier, différent, ayant servi uniquement à voir comment la méthode utilisée chez l'homme était réalisable sur le singe.

— Les réponses au clic et aux différents clics filtrés sont représentées, pour le singe (S2), sur la figure 60. Comme pour

les mesures chez l'homme, les amplitudes des réponses sont exprimées en % de l'amplitude maximale atteinte dans chaque cas et pour chaque stimulation.

— L'amplitude maximale moyenne, pour le clic, est de 46,6 µV (σ = 13,6 µV). Pour le clic filtré 8000 Hz elle est de 44,8 µV (σ = 12,9 µV).

— Les seuils sont trouvés, en moyenne sur les 8 oreilles des 4 singes, à 37,9 dB pour le clic (σ = 8,5 dB), et à 36,6 dB pour le clic filtré 8000 Hz (σ = 10,3 dB). Cela correspond à + 13 et - 8 dB respectivement par rapport aux seuils normaux chez l'homme.

— La latence au seuil est en moyenne, pour le clic, de 2,5 ms (σ = 0,3 ms).

— La latence à 130 dB, toujours pour le clic est en moyenne de 0,89 ms (σ = 0,07 ms).

— Les courbes entrée-sortie amplitude-latence, calculées sur les 8 oreilles sont représentées sur la figure 61 pour le clic et la figure 62 pour le clic filtré 8000 Hz.

On observe d'emblée l'absence de plateau sur les courbes pour le clic, alors que pour le clic filtré 8000 Hz, il est très marqué. On note également la présence de N2 qui est très net depuis le seuil (Fig. 60).

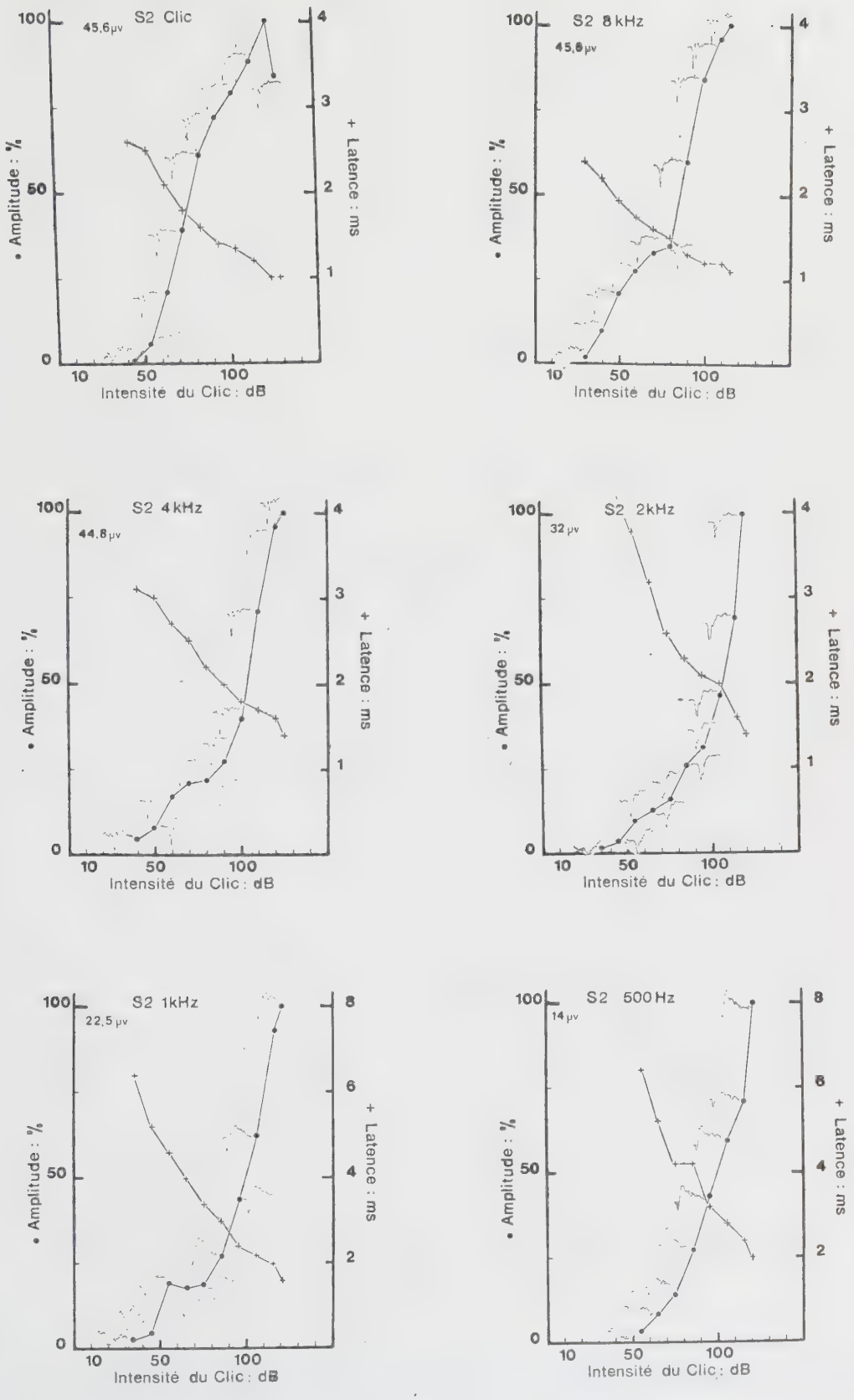


FIG. 60 - Réponses au clic et aux clics filtrés chez un Singe. Durée des traces : 10 ms (clic, 8000, 4000 et 2000 Hz), 20 ms (1000 Hz) et 40 ms (500 Hz).

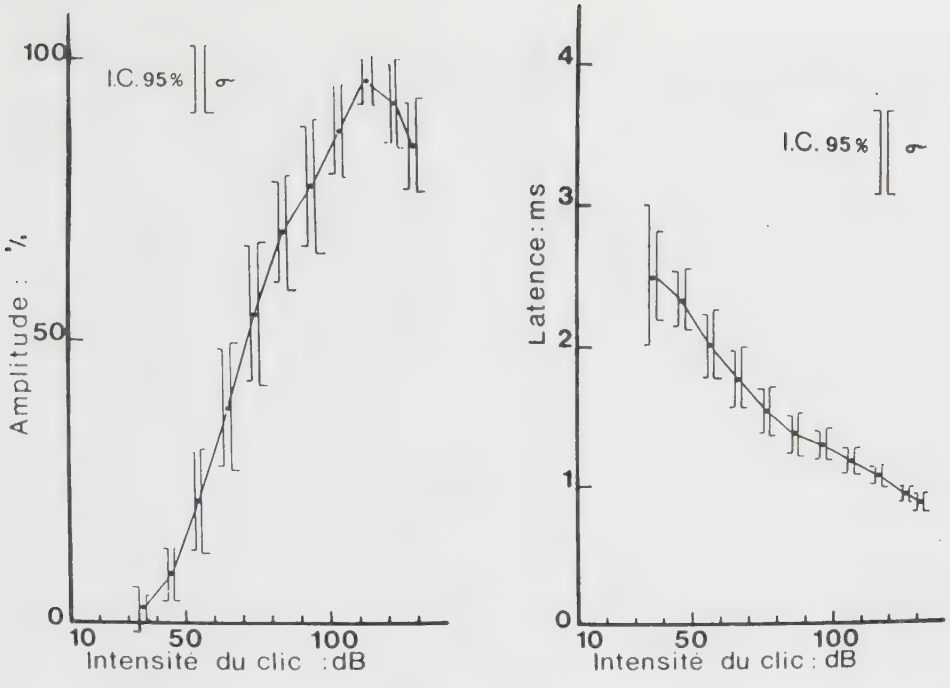


FIG. 61 - Courbes entrée-sortie amplitude et latence moyennes, calculées pour 4 singes (8 oreilles) en réponse au clic.

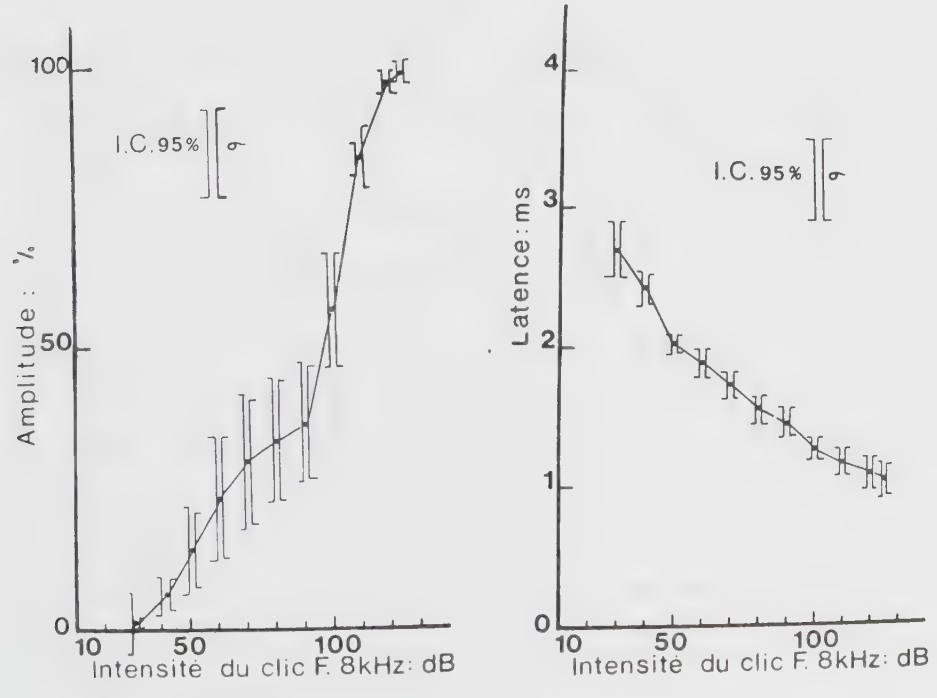


FIG. 62 - Courbes entrée-sortie amplitude et latence moyennes, calculées pour 4 singes (8 oreilles) en réponse au clic filtré 8000 Hz.

12 – LES RÉPONSES GLOBALES DU NERF AUDITIF CHEZ LE COBAYE NORMAL

La plupart des enregistrements ont été effectués sur le cobaye éveillé porteur d'une électrode à demeure sur la fenêtre ronde de la cochlée gauche, sauf dans quelques cas où, pour vérification, on a enregistré lors d'expérimentations aiguës, à partir d'électrodes intra-cochléaires différentielles dans le premier tour.

Nous avons surtout utilisé les préparations éveillées car celles-ci permettent d'effectuer des enregistrements beaucoup plus complets et nombreux que lors d'expérimentations aiguës. Aucun facteur tel que l'anesthésie ou l'hypothermie ne vient modifier le fonctionnement du récepteur. Enfin on peut observer l'évolution des réponses avant, pendant et après les divers traitements oto-destructeurs que nous avons fait subir à ces cobayes, ce qui permet, entre autres, de les doser jusqu'à l'obtention des formes de réponses désirées.

Nous allons considérer ici les réponses normales obtenues sur l'ensemble des cobayes : ceux qui ont servi de témoins, et ceux qui ont été expérimentés et qui présentaient, avant l'administration du traitement oto-destructeur, des réponses également normales.

121 – Méthodes

Animaux chroniques

La méthode a été développée dans le Laboratoire, avec le Dr. LE BERT, dès 1966 (PORTMANN et al., 1966) et a été progressivement améliorée principalement au niveau de l'anesthésie du cobaye et de la fixation de l'électrode et du connecteur sur le casque. Actuellement les animaux peuvent être conservés, ainsi équipés, pendant plusieurs mois et même plus d'un an (cobaye n° 29).

Après avoir difficilement trouvé un compromis entre la dose de Nembutal, que nous utilisions au début et la durée de l'intervention, qui est de 2 à 3 heures, nous avons adopté l'anesthésie à la Kétamine qui s'est révélée très pratique. La durée de l'anes-

thésie n'étant plus un problème nous avons pu prendre tout le temps nécessaire pour la mise en place des électrodes.

La Kétamine est administrée par voie intrapéritonéale, les doses variant entre 125 et 150 mg/Kg, une demi-heure après prémédication au moyen d'un barbiturique (Nozinan 1,25 mg I.M.) et de sulfate d'Atropine (0,2 ml à 1 pour 4000 I.M.).

De la Xylocaïne à 5 %, adrénalinée, est infiltrée dans le sillon rétro-auriculaire et sous le scalp.

Dans un premier temps le crâne est dénudé et 4 vis sont placées de part et d'autre de la suture centrale. 2 fils de nickel-chrome sont soudés respectivement à deux vis de chaque côté et serviront d'électrodes indifférente et masse. L'ensemble est solidarisé par du ciment.

Dans un deuxième temps l'incision crânienne est prolongée jusqu'au sillon rétro-auriculaire. Les masses musculaires sont dégagées et l'apophyse para-occipitale lisse, exsangue et sèche, est obtenue par la mise en place de coton adrénaliné suivi du séchage à l'air chaud.

Un premier trou de 2 mm de diamètre est pratiqué à la fraise 8 mm au-dessus de la pointe de l'apophyse para-occipitale, 4 mm en arrière du bord postérieur du conduit auditif osseux, et 2 mm en dessous de la suture pétro-squameuse. Cette ouverture permet de centrer l'optique du microscope sur la fenêtre ronde qui apparait tangentiellement et à travers laquelle on peut apercevoir l'organe de Corti de la base.

Un deuxième trou, plus petit, est percé juste au-dessous du premier et va permettre de guider l'électrode vers la fenêtre ronde.

L'électrode est réalisée à partir d'un fil émaillé de nickel-chrome de 50 µ de diamètre. Une extrémité est dénudée sur 3 mm et arrondie en boucle.

Observant l'électrode et la fenêtre ronde à travers le premier trou, la boucle est placée au contact de la membrane de la

fenêtre, le fil étant orienté de telle sorte qu'un effet élastique soit obtenu entre son point d'appui dans le deuxième trou et l'appui de la boucle sur la membrane (Fig. 63).

La qualité du contact est immédiatement vérifiée par l'observation du microphonique cochléaire. Celui-ci sera constamment observé comme contrôle au cours de l'intervention.

Du ciment dentaire très liquide est alors introduit dans les deux trous. Lorsqu'il est sec l'électrode est ainsi solidement fixée à la bulle. Le point le plus important pour la qualité de la fixation de l'électrode est le fait que l'os de la bulle doit être absolument sec et que le ciment ne doit être en contact qu'avec l'os et jamais avec les muscles environnants.

Le fil de l'électrode est alors introduit dans un cathéter très fin (n° 00) de 3 cm de long. Ce cathéter est cimenté sur la bulle au niveau du petit trou. L'électrode est ainsi complètement et sûrement isolée, puisque l'autre extrémité sera noyée dans du ciment sur le crâne.

Les deux fils des électrodes crâniennes sont soudés aux deux bornes postérieure et médiane d'un connecteur miniature 5 broches (SOURIAU), le fil de l'électrode active est soudé à la borne antérieure. L'ensemble est noyé dans du ciment.

Après suture de l'incision et traitement local à l'Exoseptoplix, l'animal est placé dans une cage individuelle et se réveille dans les deux heures.

Aucune médication postopératoire (par antibiotique ou autre) n'est administrée. Les points sont enlevés dans les 15 jours suivants.

Comme incidents opératoires on note des décès à l'anesthésie et des perforations de la membrane de la fenêtre ronde.

Immédiatement après le réveil, quelques cobayes présentent des vertiges et décèdent en quelques jours par impossibilité de s'alimenter.

A long terme certains cobayes dont les réponses diminuent progressivement sont sacrifiés. L'examen des oreilles montre la présence d'otites.

Malgré ces incidents,40 % des cobayes opérés donnent entière satisfaction : l'électrode est très bien supportée et on ne relève, après plusieurs mois et même plus d'un an, aucune réaction au ciment. Le nombre relativement faible d'otites est surprenant quand on connait la sensibilité du cobaye à cette infection.

Stimulations

Une difficulté dans l'utilisation de l'animal éveillé réside dans la manière de délivrer les clics au tympan. Cela est très difficile à réaliser en champ libre car le moindre mouvement de la tête du cobaye modifie à la fois l'intensité et la forme du signal sonore ; ainsi que son temps de propagation depuis le haut-parleur jusqu'au tympan. Cela est particulièrement incompatible avec la sommation, dans un moyenneur, des réponses successives lors de stimulations répétitives.

C'est pourquoi les stimulations sonores sont délivrées directement au tympan par l'intermédiaire d'un tube plastique coudé que l'on introduit dans le conduit auditif externe (Fig. 64) en même temps que l'on branche le préamplificateur sur les broches du connecteur fixé sur le crâne. Le tube est alors solidaire du connecteur. Il est relié par un autre tube souple à un écouteur TELEPHONICS TDH 39, placé sur le dessus de la cage du cobaye. Celle-ci est placée dans une cabine insonorisée et faradisée pour petits animaux (AMPLIFON), elle-même placée à l'intérieur d'une cabine insonorisée et faradisée plus grande (AMPLIFON type G Large).

L'animal s'habitue très vite dans sa cage et reste calme. Il supporte très bien la présence du tube dans son oreille et n'essaye pas de l'enlever. Surveillant continuellement l'activité du cobaye grâce à l'écoute permanente du signal, les enregistrements sont interrompus dès que celui-ci s'agite et repris dès qu'il est calmé.

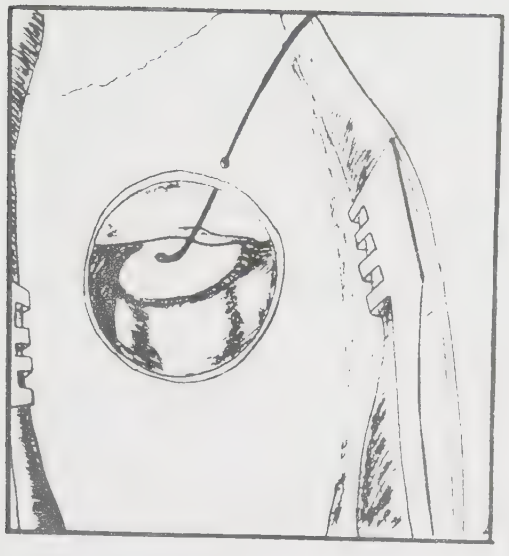


FIG. 63 - Schéma représentant l'électrode en place sur la fenêtre ronde vue à travers le premier trou.

FIG. 64 - Vue du cobaye le tube étant placé dans le conduit auditif externe, les electrodes connectées au préamplificateur.

Les stimulations sonores sont toujours les mêmes que celles utilisées en électro-cochléographie. Les niveaux sonores sont exprimés, pour le clic, en dB p.e. SPL (mesurés dans un coupleur acoustique B. & K.)

Les niveaux des clics filtrés sont ici exprimés de telle sorte qu'une même indication en dB pour les différentes stimulations correspond à la même amplitude crête à crête du signal aux bornes de l'écouteur.

Matériel, Enregistrements

Le matériel, à part l'écouteur, est absolument le même que pour l'électro-cochléographie, ainsi que les constantes de temps, durées d'analyse, etc.

Lorsqu'un animal est soumis à notre test, les réponses au clic depuis le seuil jusqu'à 130 dB sont enregistrées systématiquement. Le microphonique cochléaire est mesuré (alors sans inverser la stimulation) à 110 dB pour le clic et à 130 dB pour les clics filtrés.

122 – Résultats

Les réponses au clic obtenues chez 24 cobayes normaux, tous différents, ainsi équipés, sont d'abord considérées.

– Le seuil est trouvé en moyenne à 13,75 dB (p.e. SPL) (σ = 5,7 dB)

– L'amplitude maximale est en moyenne de 1062 µV (σ = 185 µV)

– La latence au seuil est en moyenne de 2,07 ms (σ = 0,38 ms)

– La latence à 130 dB est en moyenne de 0,74 ms (σ = 0,04 ms)

– La largeur à mi hauteur est en moyenne de 0,31 ms (σ = 0,01 ms)

– Les courbes entrée-sortie, amplitude-latence, calculées sur ces 24 cobayes sont représentées sur la figure 65. Les calculs ont été effectués en % des amplitudes maximales, celles-ci pouvant être assez différentes d'un cobaye à l'autre (voir plus haut l'écart type sur la valeur de l'amplitude maximale moyenne), cela certaine-

ment en raison de différences dans la qualité du contact de l'électrode active.

L'évolution des réponses a été observée sur deux cobayes pendant des durées de 109 et 122 jours, les cobayes étant ensuite sacrifiés pour contrôler l'état de l'organe de Corti. Les cochléogrammes au microscope à contraste de phase ont révélé des organes de Corti normaux, à l'exception du 4ème tour où quelques cellules ciliées externes étaient absentes, cela de la même manière pour les cochlées gauches (équipées de l'électrode) que pour les cochlées droites (non concernées par l'approche chirurgicale de l'oreille gauche, ni par les stimulations sonores lors des différents enregistrements). Des résultats identiques ont été obtenus chez des cobayes normaux non équipés de l'électrode.

Chez un troisième cobaye (n° 29), l'observation des réponses se poursuit depuis plus de 13 mois et il présente toujours des réponses normales comme aux premiers jours (Fig. 66).

Sur ce cobaye, nous avons calculé les courbes entrée-sortie, amplitude-latence sur 6 mesures pendant le premier mois après la mise en place de l'électrode (Fif. 67), et sur les 13 memesures effectuées chaque mois pendant 13 mois (Fig. 68).

Ces résultats montrent la stabilité de la préparation et la constance des enregistrements qui sont ainsi réalisables à tout moment.

Comme caractéristiques principales de ces réponses chez le cobaye normal, nous retiendrons :

- la latence relativement courte au seuil
- le plateau très prononcé sur la courbe amplitude autour de 80 dB
- l'importance du pic N2 dès le seuil (Fig. 69)

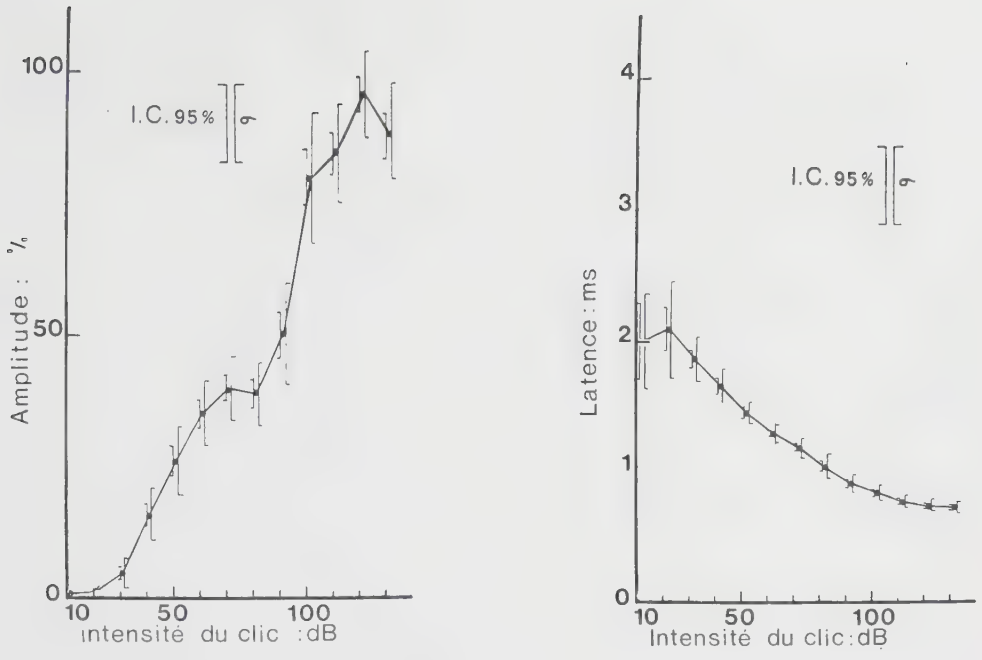


FIG. 65 - Courbes entrée-sortie, amplitude-latence, moyennes calculées sur 24 cobayes normaux, tous différents.

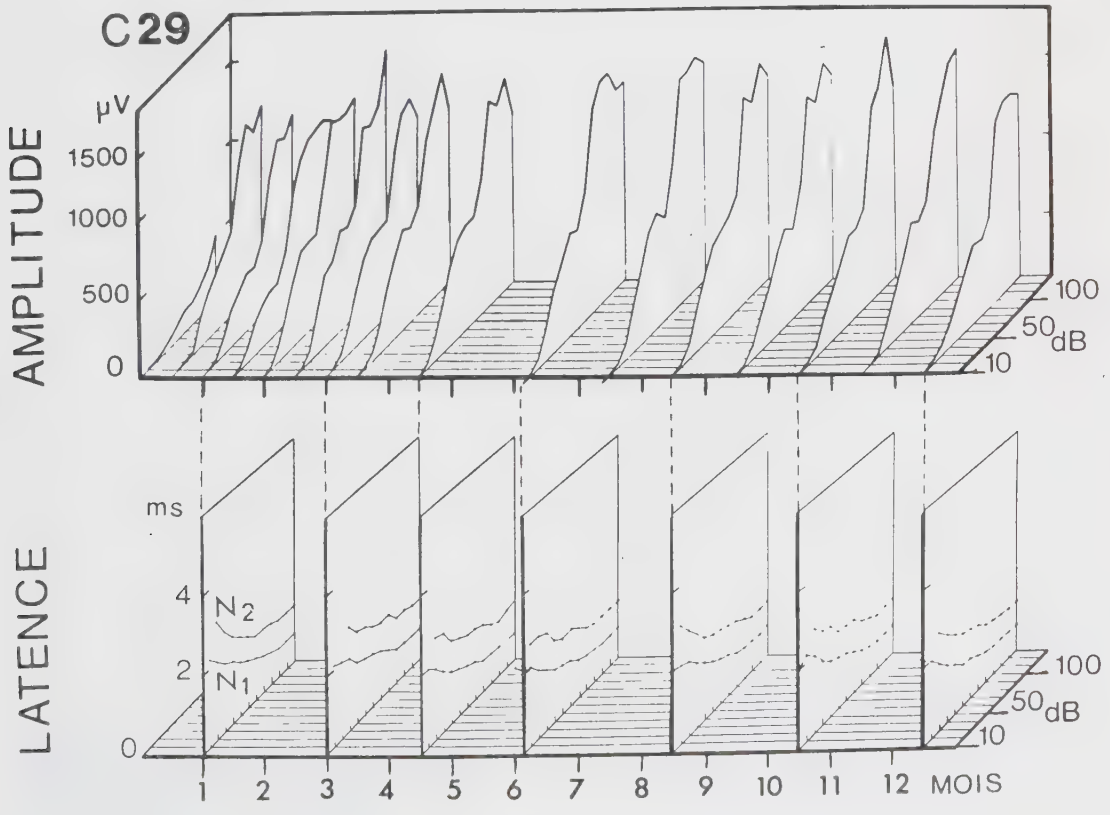


FIG. 66 - Evolution des courbes entrée-sortie, amplitude-latence, chez un cobaye normal (29), pendant plus de 12 mois. Les latences des deux pics N1 (courbe du bas) et N2 (courbe du haut) sont ici représentées. On constate que chez le cobaye normal N2 est toujours très net dès le seuil.

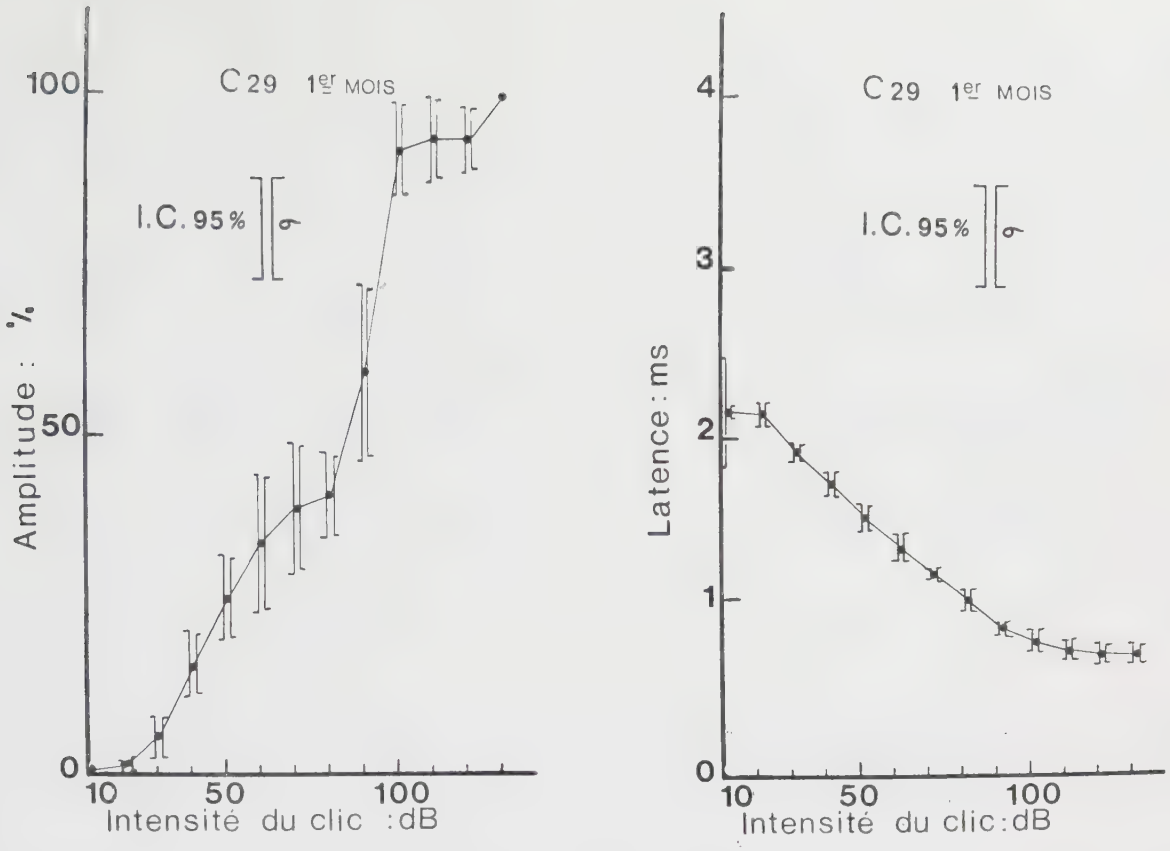


FIG. 67 - Courbes entrée-sortie, amplitude-latence, moyennes chez un cobaye normal (29) sur 6 mesures pendant le premier mois.

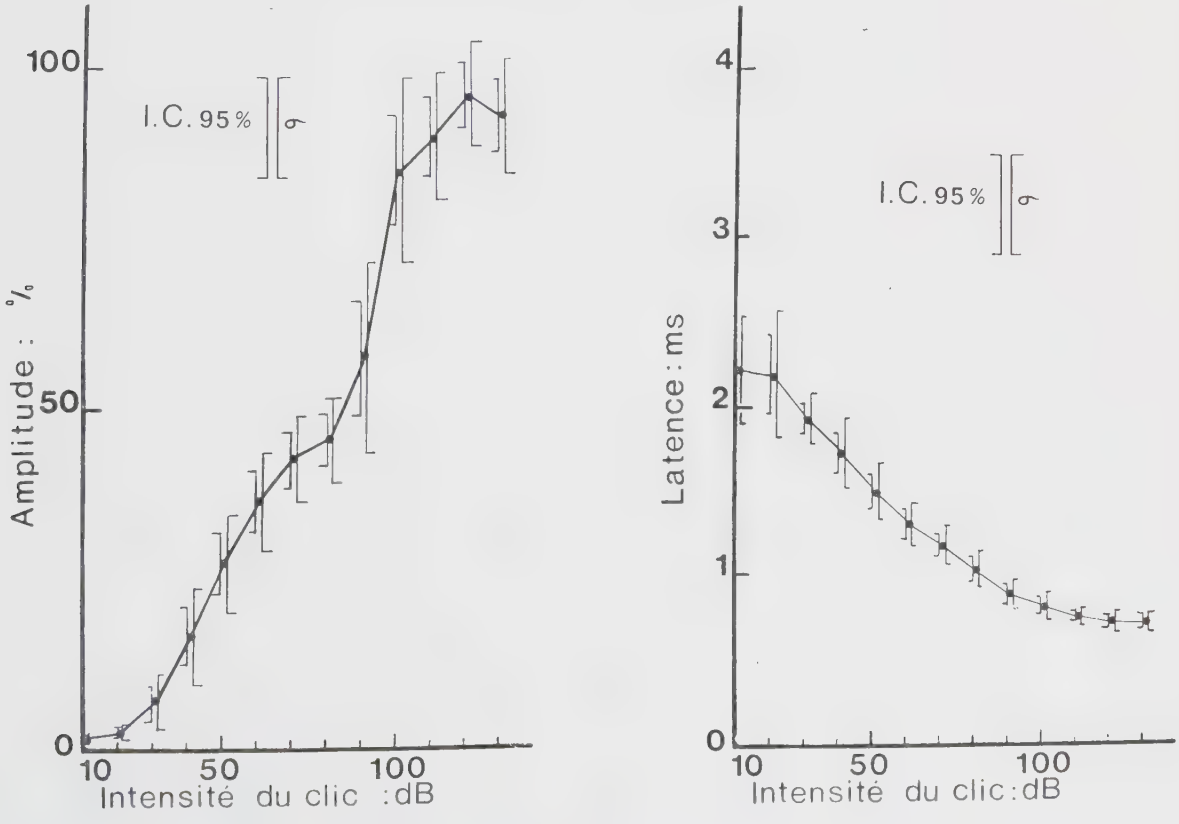


FIG. 68 - Mêmes courbes sur le même cobaye (29) mais sur 13 mesures (chaque mois pendant 13 mois).

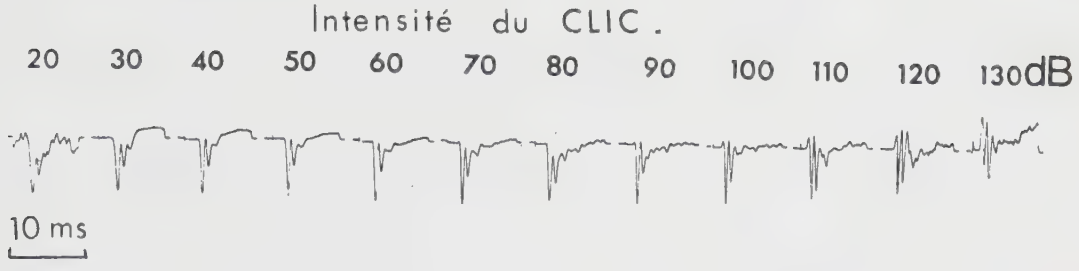


FIG. 69 - Réponses normales au clic chez le cobaye, de 20 à 130 dB (amplifications ajustées pour avoir des traces de dimension comparable).

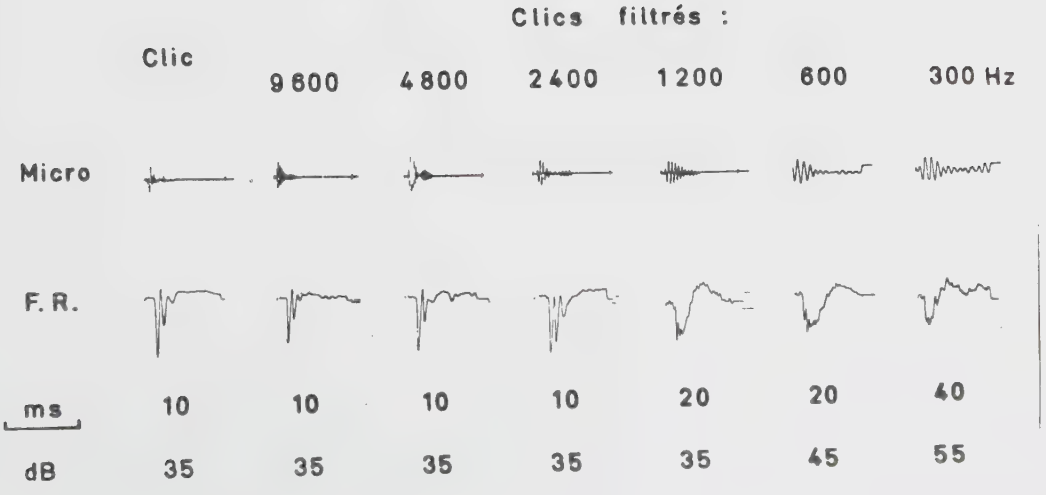


FIG. 70 - Réponses au clic et aux différents clics filtrés. Pour le clic et les clics filtrés aigus jusqu'à 2400 Hz on distingue une succession de pics. Pour les basses fréquences on n'a plus qu'une onde lente négative.

123 – Réponses aux clics filtrés

Sur les cobayes normaux, équipés de l'électrode sur la fenêtre ronde, les réponses aux différents clics filtrés ont été occasionnellement observées.

Sur la figure 70 sont représentées les réponses au clic et aux clics filtrés 9600, 4800, 2400, 1200, 600 et 300 Hz, enregistrées toujours de la même manière c'est-à-dire en faisant la moyenne des réponses successives lors de la stimulation répétitive (toujours au rythme de 10 par seconde), la phase du signal sonore étant alternativement inversée afin d'éliminer le microphonique cochléaire, très important chez le cobaye.

Sur la figure 71 sont représentées les courbes entrée-sortie, amplitude et latence, en réponse au clic filtré aigu 8000 Hz, calculées sur 14 cobayes normaux.

Sur la figure 72 sont représentées les courbes entrée-sortie chez un cobaye normal (n° 31) pour le clic et les clics filtrés 8000, 4000, 2000 et 1000 Hz, qui sont toujours enregistrées, lors des expérimentations utilisant le traumatisme sonore ou l'antibiotique ototoxique, avant le traitement et juste avant le sacrifice du cobaye. On constate que le plateau est net pour le clic et le clic filtré 8000 Hz, alors que pour les autres clics filtrés la forme de la courbe amplitude est plutôt exponentielle. On note en outre que plus la fréquence du clic filtré est basse, plus la latence de la réponse est longue, et nous allons étudier plus dans le détail ces réponses aux clics filtrés basse fréquence.

124 – Réponses aux clics filtrés basse fréquence

Forme

Sur la figure 70 on constate que la réponse nerveuse globale se présente sous la forme d'une succession de pics négatifs, de largeur environ 1 ms, seulement pour le clic et pour les clics filtrés aigus jusqu'à 2400 Hz ; en dessous la réponse ne présente plus de pics négatifs, nettement individualisés, mais une onde lente

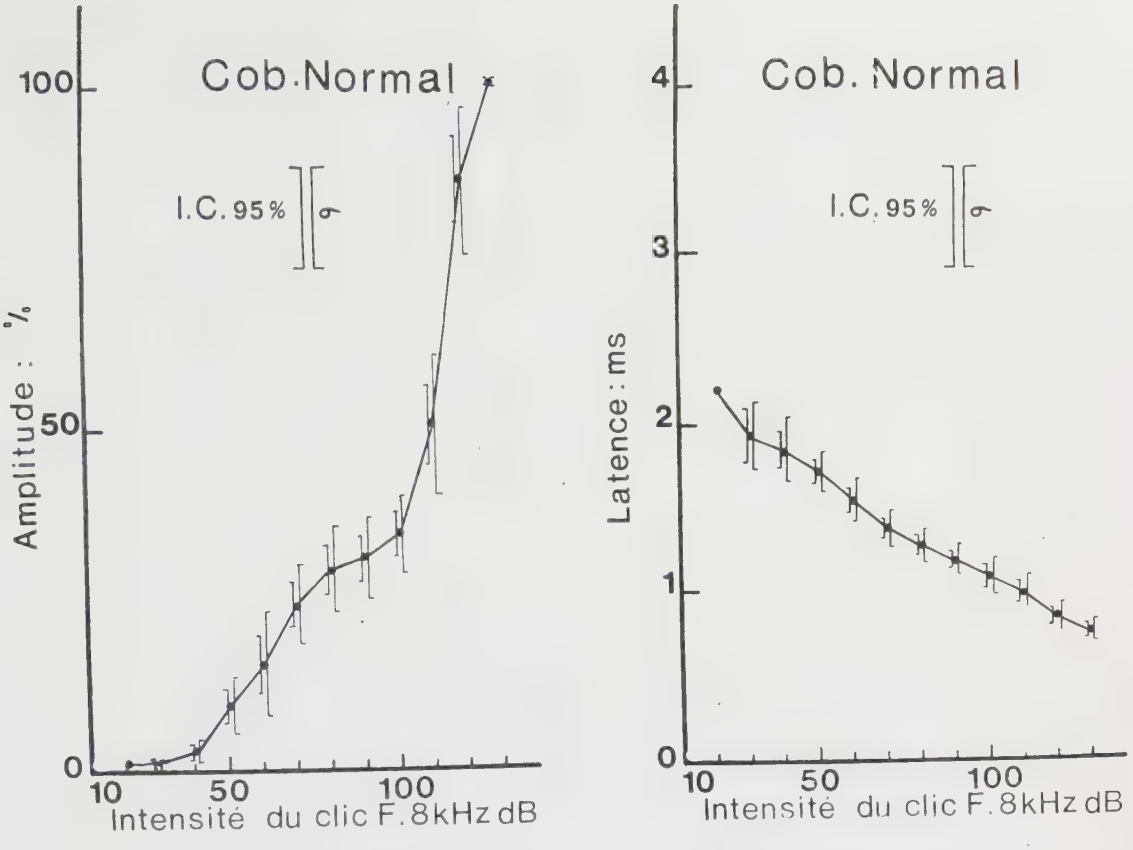


FIG. 71 - Courbes entrée-sortie, amplitude-latence, moyennes, en réponse au clic filtré 8000 Hz, calculées sur 14 cobayes normaux.

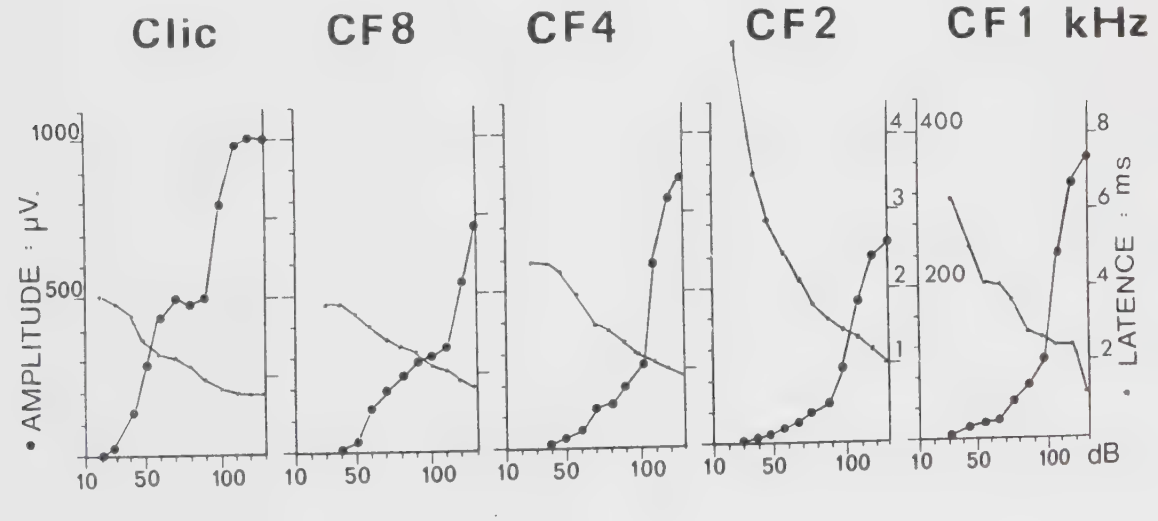


FIG. 72 - Courbes entrée-sortie, amplitude-latence, pour le clic et les clics filtrés chez un cobaye normal. Noter l'augmentation de la latence et la diminution de l'amplitude pour les clics basse fréquence qui ont nécessité, pour la dernière figure (CF 1kHz) de changer les échelles.

négative. Il y a donc, entre 2400 et 1200 Hz, une différence importante dans la synchronisation des fibres du nerf auditif et une étude plus détaillée est nécessaire.

Pour cela nous avons enregistré les réponses à ces stimulations basse fréquence avec une méthode plus fine, qui permet en particulier de séparer (dans une certaine mesure) les réponses sensorielles (microphonique cochléaire) et nerveuses (potentiel d'action) sans recourir nécessairement à l'artifice utilisé dans la méthode électro-cochléographique et dans tous les enregistrements effectués au niveau de la fenêtre ronde chez le cobaye. Cette méthode, proposée par TASAKI, DAVIS et LEGOUIX (1952) consiste à enregistrer simultanément au niveau de la rampe tympanique et de la rampe vestibulaire, par rapport à une électrode de référence éloignée de la cochlée. Sur chacune des électrodes cochléaires les signaux émis par l'organe de Corti apparaissent en opposition de phase, alors que les signaux dont la source est plus éloignée (le potentiel d'action du nerf auditif) apparaissent en phase (Fig. 73). Si alors on effectue la somme ou la différence des signaux sur chaque électrode on obtient respectivement le potentiel d'action seul (ainsi que tout autre signal qui arrive en phase sur les deux électrodes, comme le microphonique produit dans les régions éloignées de l'organe de Corti ou l'activité cardiaque, etc.), ou le microphonique seul (Fig. 74). (C'est avec cette méthode que les réponses présentées sur la Figure 1 ont été enregistrées).

Les enregistrements sont effectués sur le cobaye anesthésié (Nembutal, 0,8 ml/kg), trachéotomisé, curarisé (Flaxedil, 0,5 ml) et placé sous pompe respiratoire. La bulle est approchée par voie ventrale, largement ouverte. Deux trous sont pratiqués : dans la rampe vestibulaire et la rampe tympanique. Deux fils de nickel-chrome dénudés sur 1/2 mm et pourvus à cette distance d'une petite bille de ciment, sont introduits dans les deux trous. La bille de ciment sert à limiter la profondeur de la pénétration de l'électrode et assure, en butant sur l'os de la cochlée, une certaine étanchéité. Un étage préamplificateur à transistors, type cathode follower, muni des réglages nécessaires, permet d'effectuer

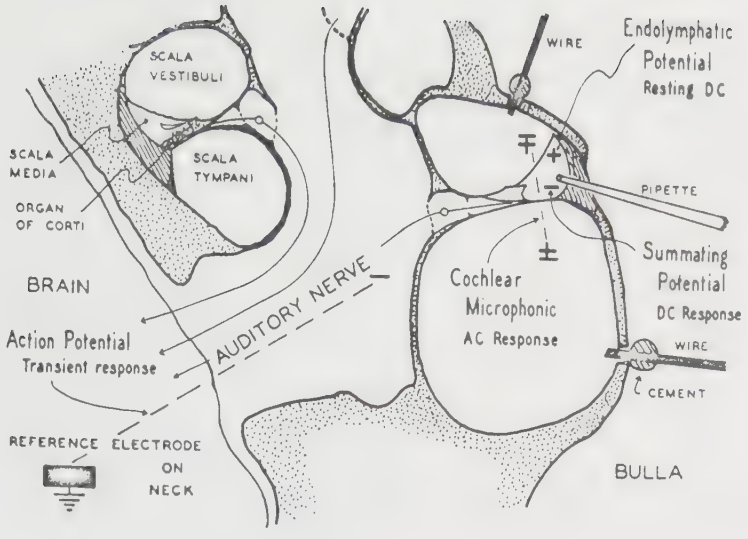


FIG. 73 - Enregistrement des phénomènes électriques cochléaires (DAVIS, 1956). Cette figure explicite comment les électrodes sont placées dans les rampes tympanique et vestibulaire et comment les signaux émis par l'organe de Corti (Microphonique Cochléaire et Potentiel d'action) influencent ces deux électrodes en opposition de phase, alors que les signaux émis au niveau du nerf auditif (Potentiel d'Action) influencent les deux électrodes de la même manière. La micro-pipette dans le canal cochléaire sert à mesurer le potentiel de repos endo-cochléaire.

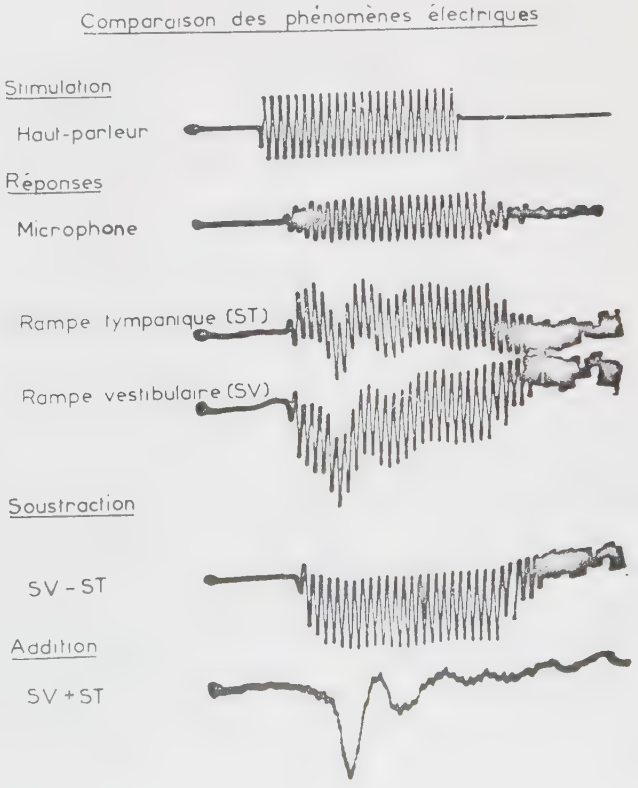


FIG. 74 - Comparaison des signaux aux bornes du haut-parleur, aux bornes du microphone, enregistrés au niveau de la rampe (scala) tympanique (ST) et de la rampe vestibulaire (SV). Effets de la soustraction (SV - ST) et de l'addition (SV + ST) des signaux enregistrés par les deux électrodes cochléaires placées dans les deux rampes comme indiqué sur la figure 73 ci-dessus.

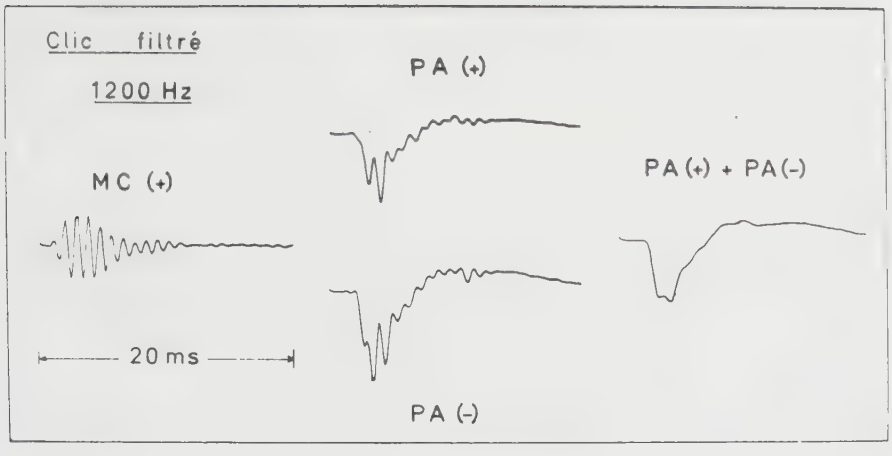


FIG. 75 - Réponses au clic filtré 1200 Hz enregistrées dans le premier tour au moyen d'électrodes intra-cochléaires différentielles (permettant de séparer le microphonique cochléaire du potentiel d'action) chez un cobaye normal, anesthésié et curarisé. On observe : à gauche : la réponse microphonique au stimulus d'une polarité : MC (+) ; au centre les réponses, sur la voie du potentiel d'action, aux deux stimulations : PA (+) et PA (-) ; à droite la somme de ces deux réponses : PA (+) + PA (-).

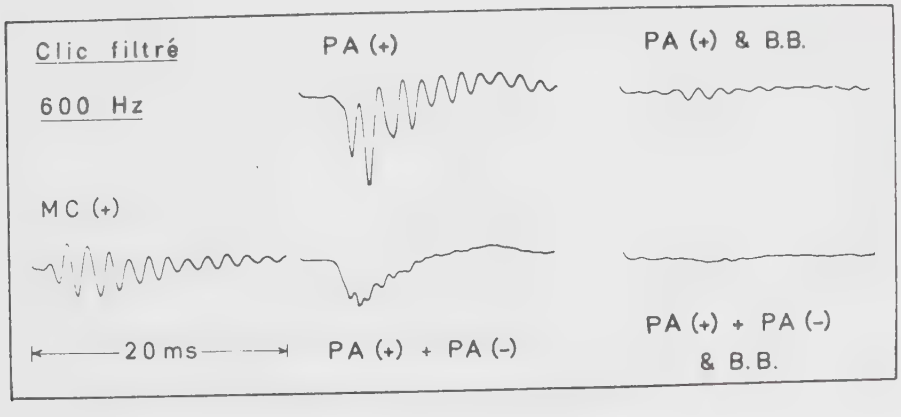


FIG. 76 - Réponses au clic filtré 600 Hz enregistrées de la même manière que pour la figure précédente. On observe : à gauche : la réponse microphonique au stimulus d'une polarité MC (+) ; au centre : la réponse, sur la voie du potentiel d'action, à la même stimulation PA (+) et au-dessous la somme des réponses aux deux stimulations PA (+) + PA (-) ; à droite les mêmes réponses mais en présence de bruit blanc masquant (BB) qui ne laisse apparaître que le microphonique résiduel sur la réponse aux stimulations d'une seule polarité : PA (+) et BB, alors qu'il est éliminé sur la somme PA (+) + PA (-) et BB.

l'équilibrage des signaux sur les deux voies et d'effectuer la somme et la différence. Après amplification, les réponses - somme et différence - sont moyennées dans le WAVE-FORM EDUCTOR, puis enregistrées sur papier.

On peut ainsi observer les réponses microphoniques et nerveuses moyennes séparément, sans inverser la phase de la stimulation, et on peut les comparer aux mêmes réponses obtenues avec des stimulations alternativement inversées.

Pour les réponses au clic et aux clics filtrés 9600 à 2400 Hz on n'observe qu'une très légère différence dans la latence et la forme des réponses, que ce soit aux stimulations de chaque signe ou à leur somme, elles sont toujours constituées d'une succession de pics négatifs bien individualisés (voir à ce sujet l'étude très détaillée de PEAKE et KIANG, 1962).

Par contre des différences notables apparaissent dans les réponses aux sons brefs de fréquence plus basse.

Pour le clic filtré 1200 Hz (Fig. 75), on constate que les réponses nerveuses (PA) à chacune des stimulations sont constituées d'une succession de pics négatifs pratiquement synchrones avec les ondes du microphonique (MC). Ces pics sont décalés d'une demi-période d'une réponse (PA +) à l'autre (PA -), car la stimulation des fibres ne se fait que lors du mouvement de la membrane basilaire orienté de la rampe tympanique vers la rampe vestibulaire, mouvement correspondant à un déplacement de l'étrier vers l'extérieur de la fenêtre ovale (DAVIS et al., 1950 ; LEGOUIX, 1964). Comme l'intervalle entre deux pics est légèrement inférieur à leur largeur, ils se succèdent de telle sorte que le signal ressemble à une onde lente négative modulée par les crêtes des pics à une fréquence de 1200 Hz. Lorsqu'on additionne ensemble ces deux réponses, les pics étant décalés d'une demi-période, la réponse globale devient une onde lente négative où les pics n'apparaissent pas. Par contre, avec un clic filtré plus basse fréquence (600 Hz) (Fig. 76), d'une part la synchronisation des pics sur la réponse à la stimulation d'une polarité est plus nette (PA +), d'autre part la somme des ré-

ponses aux deux stimulations (PA+ + PA-) apparait comme une onde lente négative modulée par les crêtes des pics à une fréquence double : 1200 Hz, et est donc sensiblement comparable au signal obtenu lors de la stimulation par le clic filtré 1200 Hz d'une seule polarité (Fig. 75, PA+ ou PA-). On remarque cependant que les réponses nerveuses, enregistrées sans inverser la stimulation, présentent un microphonique résiduel superposé aux pics du potentiel d'action. En effet, lorsqu'on masque, par un bruit blanc présenté simultanément, la réponse nerveuse, ce microphonique résiduel apparait seul (Fig. 76, PA+ et BB). Lorsqu'on fait la sommation des réponses aux deux stimulations alternées, en même temps qu'on présente le bruit blanc, la trace est vierge de tout signal car la sommation élimine le microphonique résiduel alors que le bruit masque la réponse nerveuse (Fig. 76, PA+ + PA- et BB).

DAVIS (et al., 1950) a déjà démontré ce comportement du nerf auditif lors de la stimulation par des sons purs de différentes fréquences, en régime permanent. En particulier, il a montré qu'on pouvait observer directement, superposés au microphonique cochléaire, des pics du potentiel d'action global synchrones jusque vers 1000 Hz environ. Au-delà de cette fréquence, aucun signal nerveux n'est décelable. Par contre un potentiel d'action net apparait lors des transitoires produits par l'établissement soudain d'un son pur, quelle que soit sa fréquence. De même, au niveau de l'activité unitaire des fibres, ROSE a montré que les réponses étaient synchrones seulement pour cette même gamme de fréquences basses (voir page 135, figure 53). Ce phénomène est dû évidemment à la période réfractaire des fibres du nerf auditif qui se situe autour de 1 ms. Cela explique la différence entre les réponses globales aux sons brefs basse fréquence et haute fréquence : alors que, pour les sons basse fréquence, le potentiel d'action est lié à chaque alternance du son, pour les clics filtrés haute fréquence, cette réponse est liée à l'enveloppe du son plutôt qu'au signal à l'intérieur de cette enveloppe. Cela nous permet aussi de définir le transitoire sur le plan physiologique : c'est un signal dont l'enveloppe dure moins d'une milliseconde environ.

Ce seuil de la milliseconde, qui intervient au niveau de la forme du potentiel d'action, intervient aussi au niveau de la latence et de sa variation en fonction de l'intensité de la stimulation.

Latence

Avec un transitoire rapide, l'amplitude maximale du signal sonore est atteinte en principe en moins d'une milliseonde, et donc en un temps inférieur au délai qui semble exister entre la transmission de l'excitation de la cellule ciliée à la fibre nerveuse (quelque soit la rapidité du signal utilisé on observe toujours une certaine latence entre la stimulation et la réponse nerveuse qu'elle soit unitaire (KIANG, 1965) ou globale). Les variations de la latence avec l'intensité de la stimulation ne dépendront donc que des mécanismes neurophysiologiques de la transmission de l'excitation aux fibres nerveuses.

Par contre avec des stimulations sonores plus lentes, et où la vibration n'atteint son maximum qu'après un temps supérieur à 1 ms, alors, suivant maintenant l'intensité de la stimulation, le seuil d'excitabilité des fibres sera atteint plus ou moins tôt, et ce phénomène interviendra, en plus des autres phénomènes purement mécaniques ou neurophysiologiques. Ce phénomène est d'autant plus net avec les clics filtrés basse fréquence que nous utilisons. En effet, comme l'alternance la plus grande est la troisième, suivant l'intensité du clic filtré les fibres seront déclenchées par celle-ci ou par la précédente ou, lors de stimulations intenses, par la première. On aura alors un décalage correspondant à la période du signal basse fréquence (Fig. 77). En conséquence même s'il n'intervenait pas, dans la latence de la réponse, les phénomènes neurophysiologiques déjà décrits (voir première partie, § 31, page 122), étant donné qu'il y a un seuil d'excitabilité, la latence variera, suivant l'intensité, par bonds d'une période. C'est ce qui se passe sur les oreilles recrutantes, comme nous le montrons plus loin chez le cobaye (Fig. 92, page 209).

125 – Spécificité des stimulations et des réponses

Pour vérifier que les réponses obtenues avec ces différentes stimulations sont bien représentatives du fonctionnement de la cochlée aux différentes fréquences, nous avons observé comment le bruit blanc et des bandes de bruit centrées sur les mêmes fréquences les affectaient.

Pour cela, chez le même cobaye éveillé, on a enregistré, à partir de la fenêtre ronde, les réponses au clic et aux clics filtrés de 9600 à 300 Hz, en l'absence de bruit, en présence de bruit blanc et en présence des bandes de bruit suivantes :

Fo	9600	4800	2400	1200	600	300	150Hz
ΔF à 3 dB	300	300	300	100	100	100	30

Ces bandes de bruit sont obtenues à partir d'un générateur Bruel-&-Kjaer, type 1024.

Pour le clic et les clics filtrés de 9600 à 1200 Hz les niveaux des stimulations sont de 35 dB (p.e. SPL) et le niveau des bruits est de 50 dB (SL). Etant donné la moins grande sensibilité de la cochlée aux basses fréquences et la plus grande difficulté que l'on a à observer les réponses, pour les clics filtrés 600 et 300 Hz, les niveaux sont respectivement de 45 et 55 dB et le niveau des bruits de 60 dB. Les stimulations et les bruits sont présentés à travers 2 haut-parleurs différents placés côte à côte (champ libre)

On constate que (Fig. 78) :

– Le bruit blanc masque toutes les réponses,

– Le potentiel d'action évoqué par le clic est surtout affecté par les bandes de bruit de fréquence élevée, l'effet de masque le plus important étant produit par le bruit autour de 4800 Hz, fréquence qui correspond effectivement à la fréquence dominante du clic (voir le spectre du clic page 37, Fig. 20).

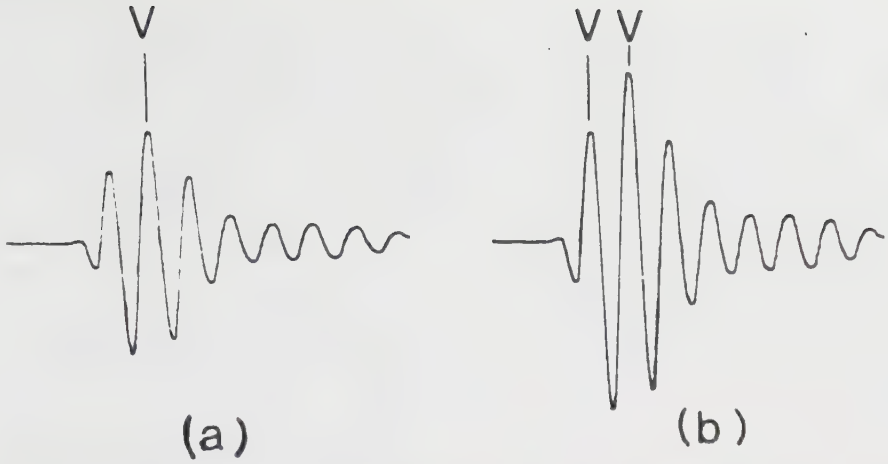


FIG. 77 - Mécanisme du recrutement précoce de réponses lors de l'augmentation de l'intensité de la stimulation basse fréquence (de a à b). V = réponses synchronisées des fibres.

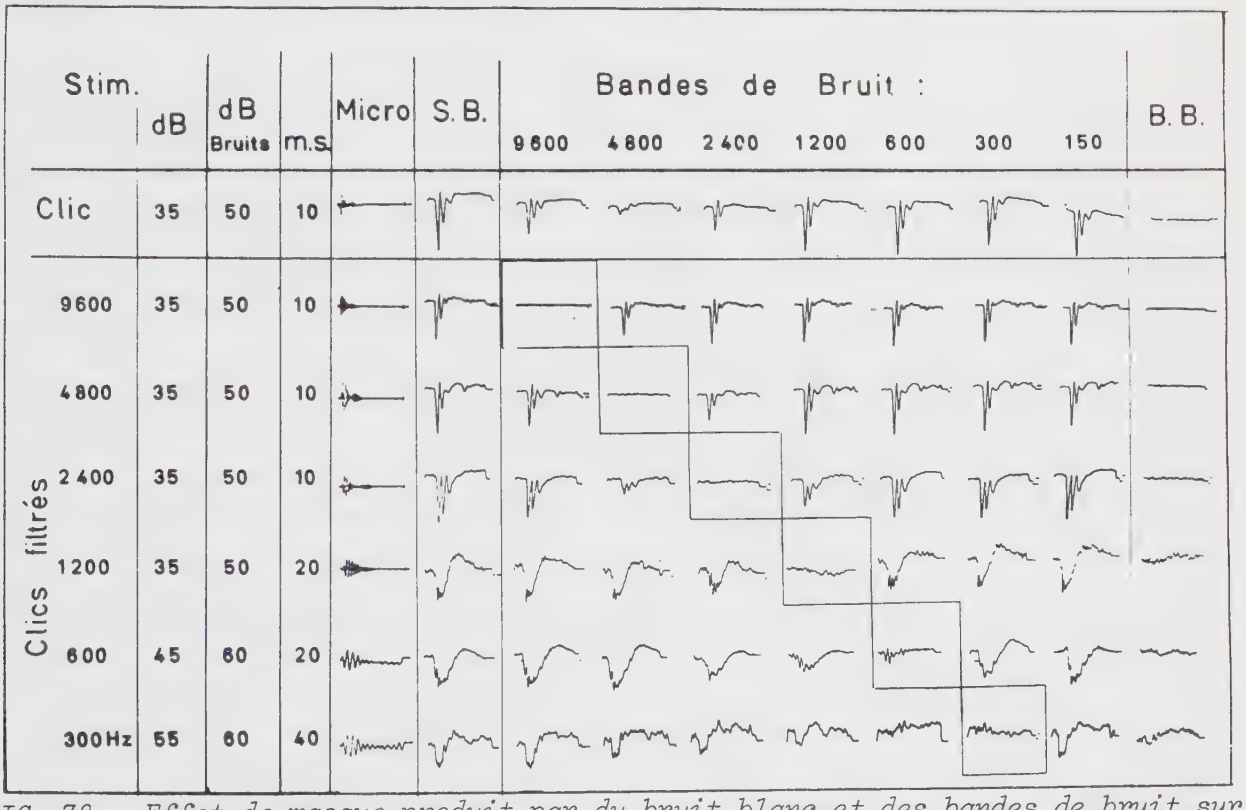


FIG. 78 - Effet de masque produit par du bruit blanc et des bandes de bruit sur les réponses aux différentes stimulations enregistrées à la fenêtre ronde chez un cobaye éveillé. De la gauche vers la droite, chaque colonne représente :

- *la nature des stimulations*
- *leur niveau (dB peSPL)*
- *les niveaux auxquels sont présentés les différents bruits (dB SL) ;*
- *la durée des traces en millisecondes ;*
- *la forme des stimulations enregistrées au microphone ;*
- *les réponses en l'absence de bruit (S.B.)*
- *les réponses en présence des différentes bandes de bruit ;*
- *les réponses en présence de bruit blanc (B.B.)*

Sur chaque ligne, pour les réponses à la même stimulation, l'amplification est constante.

— Les autres réponses ne sont masquées totalement que par les bandes de bruit centrées respectivement sur les mêmes fréquences que celles des clics filtrés (diagonale de la figure 78). Elles sont peu affectées par les bandes de bruit de fréquence voisine.

Chaque stimulation évoquant donc une réponse qui n'est masquée que par un bruit dont la bande de fréquences recouvre celle de la stimulation, ces réponses sont bien chacune caractéristiques des différents domaines de fréquences excités, dans la cochlée, par ces stimulations.

2 – RÉPONSES PATHOLOGIQUES CHEZ LE COBAYE

21 – DEFAUTS DE TRANSMISSION

Sans induire systématiquement des altérations de l'oreille moyenne chez le cobaye on a pu observer des réponses dans les cas où celle-ci ne fonctionnait pas normalement, et cela chez les cobayes qui, après la mise en place de l'électrode sur la fenêtre ronde, souffraient d'une infection de l'oreille moyenne sous forme d'otite. Celle-ci, par la présence de sérosités dans l'oreille moyenne et par l'altération du système tympano-ossiculaire, introduit une atténuation dans la transmission de la vibration sonore vers la fenêtre ovale. Dans ces cas-là, avant qu'une labyrinthite vienne affecter l'oreille interne, on a une surdité de transmission pure.

Un exemple d'une telle situation chez un cobaye est représenté sur la figure 79 où l'on peut observer l'évolution des réponses après la mise en place de l'électrode, signe de l'installation de l'otite, vérifiée lors du sacrifice de l'animal.

On constate l'élévation du seuil et le décalage du plateau, la latence au nouveau seuil étant la même qu'au seuil normal avant l'infection. L'amplitude maximum est plus réduite mais uniquement du fait que l'intensité de la vibration au niveau de la fenêtre ovale est atténuée par rapport à ce qu'elle était avant l'infection.

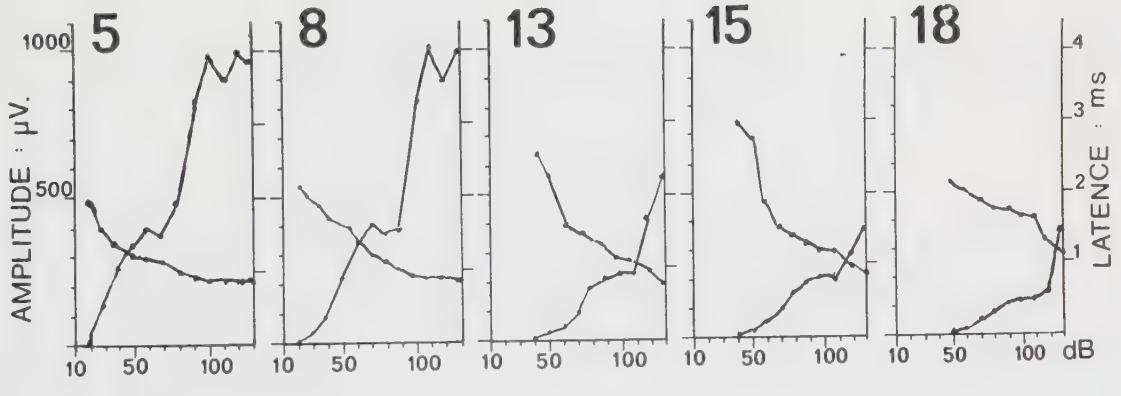


FIG. 79 - Evolution des réponses au clic lors de l'installation d'une otite chez un cobaye normal au départ (surdité de transmission). On note que le seuil et le plateau se déplacent vers la droite (fortes intensités). L'amplitude maximum ne peut plus être atteinte car il faudrait augmenter l'intensité jusqu'à 150 dB. La courbe latence est décalée de la même manière. En outre, d'une façon générale l'amplitude des réponses est réduite, cela certainement en raison du fait que les caractéristiques du contact de l'électrode sur la fenêtre ronde sont modifiées par l'otite (les chiffres en haut à gauche de chaque graphique expriment le nombre de jours après la mise en place de l'électrode).

Nous avons eu, malheureusement, à observer ce phénomène chez de nombreux cobayes et chaque fois, l'animal étant alors systématiquement sacrifié, on vérifiait la présence d'une otite.

22- REPONSES PATHOLOGIQUES APRES AGRESSION COCHLÉAIRE

Notre travail n'a porté que sur la reproduction des types de réponses électro-cochléographiques pathologiques humaines les plus simples : recrutant et dissocié. Nous pensons en effet que ces altérations des réponses correspondent à des lésions de l'organe de Corti entraînant le silence de certaines structures éventuellement détruites et un fonctionnement normal des structures restantes.

Nous avons travaillé avec des cobayes équipés de l'électrode à demeure sur la fenêtre ronde car il était ainsi possible d'observer continuellement les réponses au cours des différents traitements oto-destructeurs, et de doser ces derniers jusqu'à l'obtention des réponses désirées.

Les agents oto-destructeurs utilisés ont été le traumatisme sonore d'une part, les antibiotiques ototoxiques d'autre part.

221 - Traumatisme sonore

Dans le but d'affecter globalement ou partiellement l'organe de Corti, nous avons utilisé des bruits de spectres variés. Désirant reproduire dans un premier temps des réponses recrutantes obtenues, selon nos hypothèses, lorsque les cellules ciliées externes sont lésées tout le long de la membrane basilaire, nous avons d'abord utilisé le bruit blanc de spectre étendu.

Première série expérimentale :

a) Protocole

Cinq cobayes normaux, équipés de l'électrode sur la fenêtre ronde d'une oreille (gauche) ont été soumis à des traumatismes sonores suivant le schéma ci-après :

1) Au moins 20 jours après la mise en place de l'électrode les réponses au clic et aux différents clics filtrés sont enregistrées.

2) Les cobayes sont alors exposés pendant 6 heures à un bruit blanc de 110 dB SPL (TS1 : premier traumatisme sonore).

   Pour cela les animaux étaient placés dans une cabine insonore, à l'intérieur d'une cage en grillage comportant 5 compartiments à l'intérieur desquels chaque animal était étroitement contenu. Un haut-parleur (LANSING, 40 Watts) était placé 50 cm au-dessus de la cage.

3) Pendant les 7 jours suivants, l'évolution des réponses (récupération) est observée, en enregistrant chaque jour les réponses au clic.

4) Les cobayes sont ensuite exposés de nouveau, 5 jours de suite, au même bruit blanc (6 heures, 110 dB) (TS2 à TS6). Ils sont testés chaque jour juste avant l'exposition au bruit.

5) Les réponses au clic sont ensuite enregistrées régulièrement jusqu'à ce qu'elles cessent d'évoluer (environ pendant au moins 5 semaines après le dernier traumatisme).

A ce moment-là, les 5 cobayes présentaient des réponses très semblables et du type dissocié. Bien que l'expérimentation ait été entreprise pour reproduire des réponses de type recrutant, nous avons préféré, au vu de ces réponses très nettement dissociées, sacrifier les cobayes pour réaliser les bilans histologiques afin de pouvoir établir un rapport entre ces formes dissociées et la situation anatomo-pathologique de l'oreille interne.

6) La veille du jour où chaque animal est sacrifié, on enregistre les réponses de l'oreille équipée pour l'ensemble des stimulations (clic et clics filtrés).

7) Le lendemain on enregistre au niveau de l'oreille droite sous anesthésie générale (Kétamine), de la même manière (électrode sur la fenêtre ronde).

8) L'animal est ensuite sacrifié et les deux cochlées sont fixées

après décapitation (glutaraldéhyde, tampon, acide osmique). Les cochlées droite et gauche sont alors disséquées et les organes de Corti observés au microscope à contraste de phase (surface preparations : Engström et al., 1962). Les fragments inaccessibles à la dissection sont conservés, inclus dans l'Epon, pour observation ultérieure au microscope électronique.

Nous ne décrivons ici que les résultats des cochléogrammes en contraste de phase, les résultats au microscope électronique seront présentés pour l'ensemble des cobayes expérimentés.

b) Résultats

Evolution des réponses au clic

— *Avant le premier traumatisme*

Bien que les amplitudes des réponses puissent être assez différentes d'un cobaye à l'autre, les courbes entrée-sortie amplitude-latence (Fig. 80, première ligne, Fig. 81-1) et les formes des réponses (Fig. 82-1), sont absolument comparables et sont normales (voir § 122).

— *Effets du premier traumatisme (TS1)*

Le lendemain du premier traumatisme sonore, on observe les modifications suivantes (Fig. 80, 81-2 et 82-2) :

- le seuil (autour des 50 dB p.e. SPL) s'est élevé en moyenne de 30 dB,
- la latence au voisinage du seuil est égale ou supérieure à celle que l'on avait au seuil avant le traumatisme et donc supérieure à celle que l'on avait au même niveau sonore. Il en est ainsi jusqu'à 30 à 40 dB au-dessus du seuil. Au delà la latence est la même qu'avant. L'amplitude augmente lentement jusqu'à 80 dB, puis plus rapidement au-delà, on n'observe plus le plateau à ce niveau de 80 dB. La forme de la courbe amplitude est plutôt exponentielle. Au maximum (130 dB) l'amplitude est réduite d'environ 50 %. Les réponses sont considérablement élargies près du

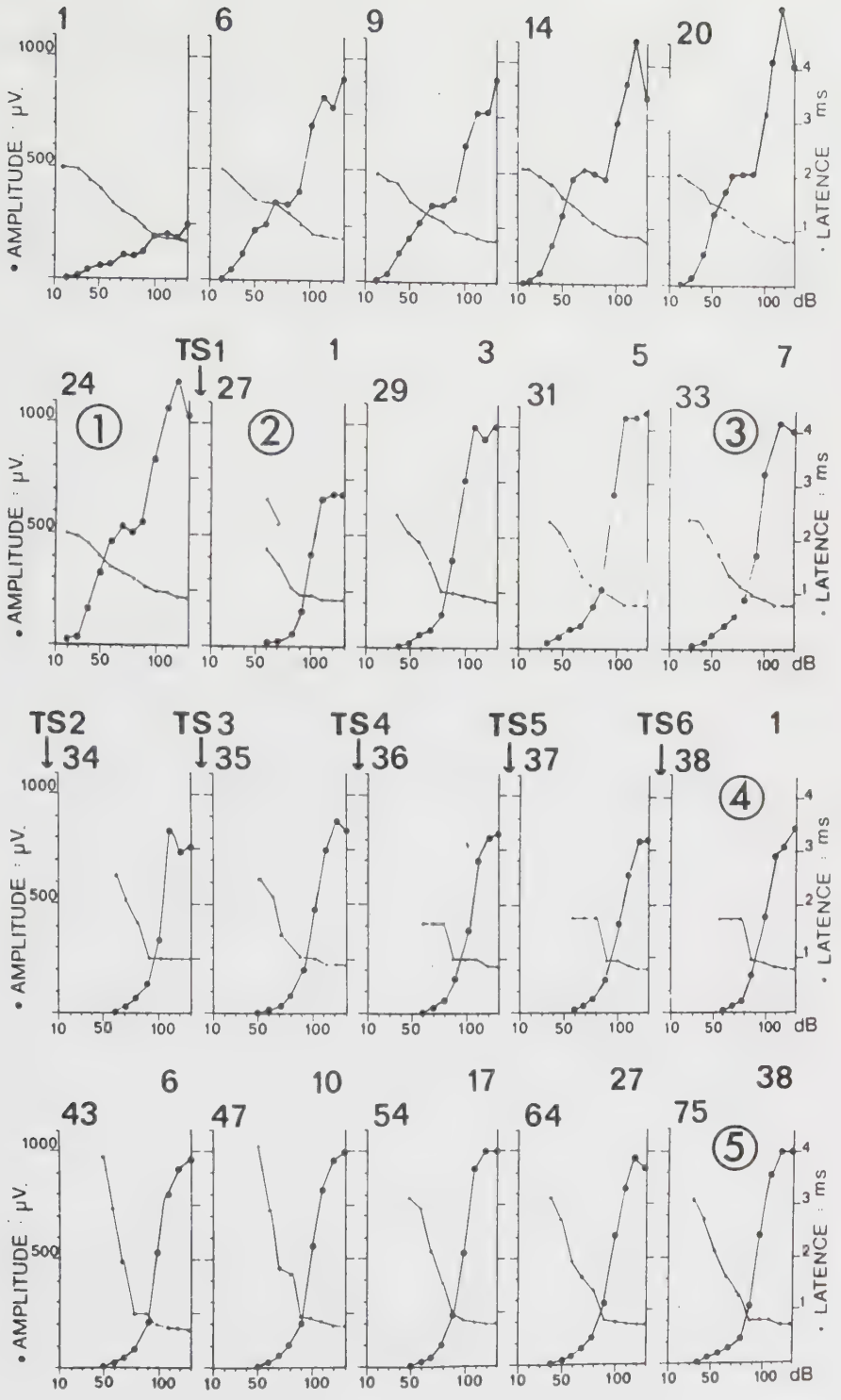


FIG. 80 - Evolution des réponses au clic chez le cobaye n° 31. Les chiffres en haut à gauche de chaque graphique expriment le nombre de jours après la mise en place de l'électrode sur la fenêtre ronde. Les chiffres en haut à droite expriment le nombre de jours après le dernier traumatisme sonore. TS1, TS2 ... : traumatismes sonores successifs (bruit blanc, 110 dB pendant 6 heures). Les chiffres cerclés signalent les 5 étapes importantes dans l'expérimentation :

1 - La veille du premier traumatisme
2 - Le lendemain du premier traumatisme
3 - 7 jours après TS1
4 - le lendemain de TS6
5 - la veille du sacrifice, au moins 5 semaines après TS6.

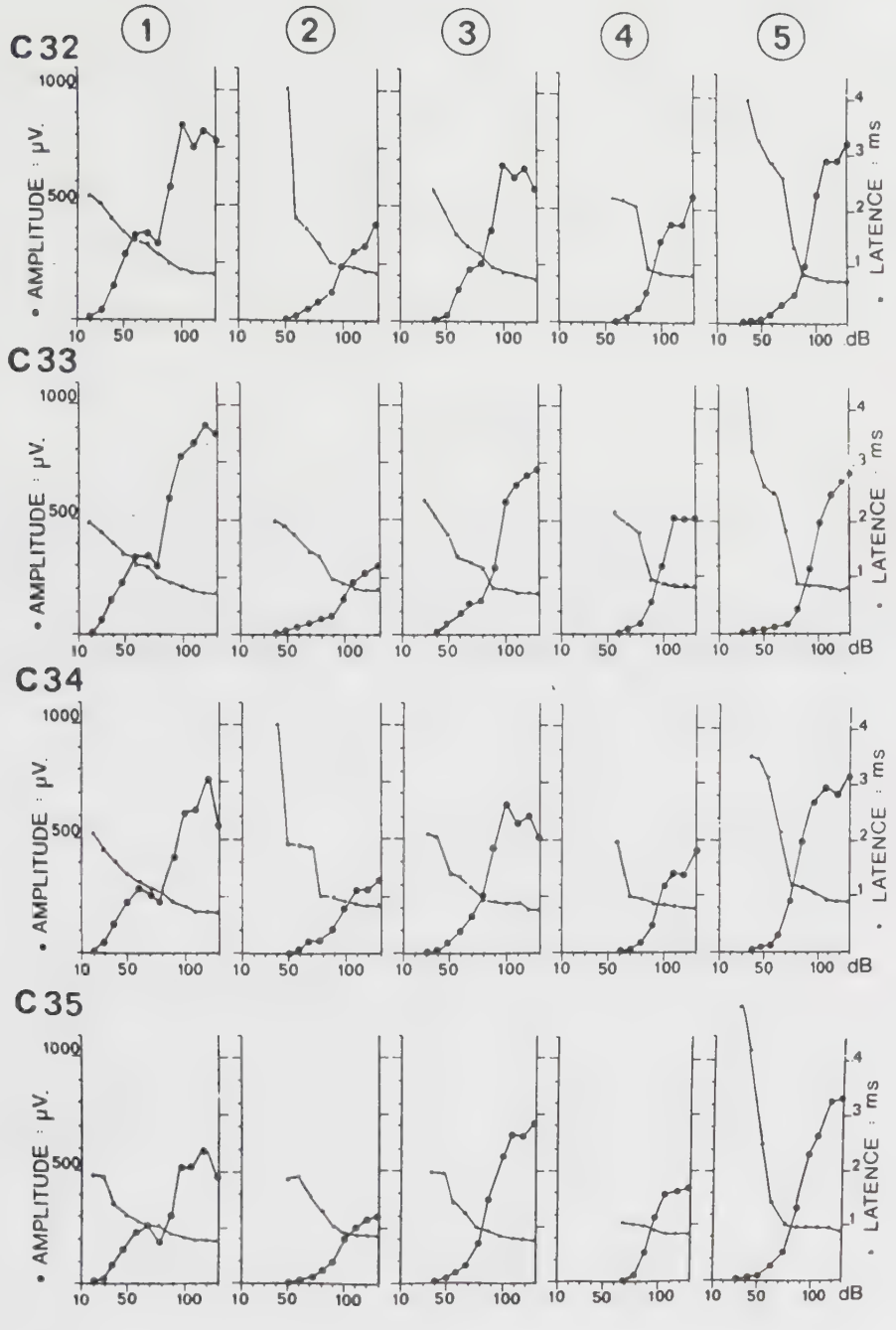


FIG. 81 - Courbes entrée-sortie (clic) pour les 4 autres cobayes, aux 5 étapes définies dans la figure 80

FIG. 82 - Formes de réponses au clic chez le cobaye n° 32, lors des 5 étapes définies dans la figure 80 , sauf pour la dernière rangée qui correspond aux enregistrements effectués 17 au lieu de 39 jours après TS6. Les tracés ont sensiblement la même dimension afin de pouvoir plus facilement comparer les formes entre elles. Pour les amplitudes, se reporter aux courbes correspondantes de la figure 81 - cobaye 32, sauf pour la dernière rangée 5. Remarquer l'apparition progressive de N1 sur 4, de 60 à 90 dB.

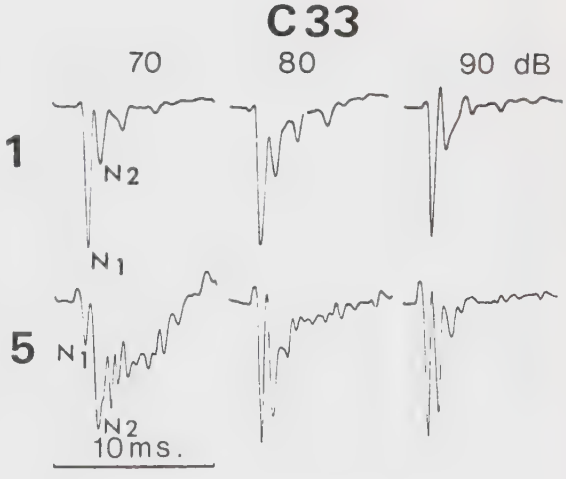


FIG. 83 - Détail des réponses au clic chez le cobaye n° 33 au début (1) et à la fin (5) de l'expérimentation. Remarquer l'apparition progressive de N1 de 70 à 80 et 90 dB (en 5, à 70 dB, N1 devient plus petit que N2).

seuil et les pics N1 et N2 ne sont plus décelables. Par contre, aux fortes intensités les formes sont comparables. On note que le pic positif précédent N1 est plus important. Ce pic positif est une réponse sensorielle sous forme de potentiel de sommation (positif car on enregistre au niveau de la rampe tympanique). Ce pic positif et la réponse nerveuse ont tous les deux diminué après le traumatisme, mais pas dans les mêmes proportions.

— *Récupération après le premier traumatisme*

Après 7 jours de récupération (Fig. 80, 81-3 et 82-3) : le seuil n'est plus qu'à 10 dB environ du seuil normal. Les courbes entrée-sortie amplitude-latence ne sont cependant pas redevenues normales : faible amplitude et latence longue en-dessous de 80 dB. Si trois cobayes présentent toujours des courbes amplitude exponentielles, chez les deux autres (32 et 33) on observe la réapparition du plateau autour de 80 dB, mais son amplitude est plus faible. Près du seuil les formes des réponses restent élargies alors qu'aux fortes intensités les formes, comme la latence et l'amplitude, sont pratiquement les mêmes qu'avant le traumatisme (Fig. 82-3).

— *Effets des 5 traumatismes suivants (TS2 à TS6)*

Les premiers jours après les 5 traumatismes sonores successifs (Fig. 80, 81-4 et 82-4), on note que :

Le seuil (60 à 70 dB) n'est que légèrement plus élevé que ce qu'il était le lendemain du premier traumatisme. La latence au seuil est autour de 2 ms (sauf pour le cobaye 35 où elle est d'emblée de 0,8 ms). Elle passe brutalement de 2 à 0,8 ms, 30 dB au-dessus du seuil et reste sensiblement constante jusqu'à 130 dB. L'amplitude maximale est légèrement plus grande qu'après TS1. Les formes sont toujours larges près du seuil et paraissent normales au maximum. On remarque l'apparition progressive de N1 (Fig. 82-4 à 70, 80 et 90 dB).

— *Evolution après le dernier traumatisme*

Les réponses sont très caractéristiques et très semblables pour les 5 cobayes (Fig. 80, 81-5 et 82-5). Elles sont pratiquement stabilisées vers le 20ème jour après TS6 (Fig. 80). On note que :

Le seuil se stabilise autour de 40 dB. La latence est nettement plus longue près du seuil (entre 3 et 4 ms) et elle décroit rapidement jusqu'à 80 dB où elle reste constante autour de 0,8 ms, cela dès les premiers jours après TS6 (Fig. 80). L'amplitude est relativement très faible en dessous de 80 dB, puis elle augmente très rapidement et est, à 130 dB, pratiquement la même qu'avant TS1. Les formes sont toujours larges aux faibles intensités et apparemment normales au maximum. On observe encore très nettement l'apparition progressive de N1, précédant la réponse tardive large, lorsqu'on augmente l'intensité du clic (Fig. 82-5 et 83).

Réponses au clic et aux différents clics filtrés avant et après les traumatismes

Les réponses aux différents clics filtrés n'ont été observées qu'au début et à la fin de l'expérimentation (Fig. 84). Les réponses aux clics filtrés basse fréquence (1000 et 2000 Hz) ne sont pratiquement pas modifiées sur le plan des seuils, de l'amplitude et de la latence. Par contre on note une très nette élévation des seuils pour les clics filtrés aigus 8000 et 4000 Hz et la latence est alors courte (≃ 1 ms). Ainsi pour le cobaye 31 (Fig. 84) le seuil pour le clic filtré 8000 est passé de 40 à 90 dB, la latence de 2 à 1 ms et la première partie de la courbe amplitude (de même que pour la latence) a disparu alors que l'amplitude maximum à 130 dB est identique. Pour le clic filtré 4000 Hz le seuil est moins modifié et on distingue dans les courbes amplitude-latence deux segments distincts autour de 90 dB. On note encore de légères modifications pour le clic filtré 2000 Hz et pratiquement aucune pour le 1000 Hz.

La diminution du microphonique cochléaire sur les réponses au clic et aux clics filtrés, exprimée sur le tableau (Fig.

86) est faible. Elle est en général plus prononcée pour le clic et les clics filtrés 4000 et 2000 Hz.

Contrôles des oreilles droites

Les enregistrements effectués le jour du sacrifice sur l'oreille non équipée (droite) ont été chaque fois très comparables à ceux réalisés la veille pour l'oreille gauche chez l'animal éveillé. On remarque seulement une très légère élévation des seuils par rapport à ceux de l'oreille gauche (due certainement à l'approche chirurgicale de la cochlée droite juste avant les enregistrements) et une légère augmentation de la latence des réponses (dépendant de la profondeur de l'anesthésie, comme on a pu le vérifier en observant les réponses à gauche sur l'animal anesthésié, et certainement en rapport avec l'hypothermie du cobaye pendant l'anesthésie (COATS 1965 ; FERNANDEZ et al., 1958). Nous ne rapportons pas dans le détail les résultats des enregistrements effectués sur les oreilles droites, destinés essentiellement à contrôler la validité des observations sur les oreilles gauches.

Bilans histologiques

La proportion des cellules sensorielles détruites par rapport à l'ensemble des cellules ciliées est extrêmement faible. A titre d'exemple la figure 85 montre les cochléogrammes (réalisés au microscope à contraste de phase) des oreilles droite et gauche du cobaye le moins atteint sur ce plan là (n° 31) et du cobaye qui présente le plus de destructions (n° 33). Le tableau, Fig. 86, indique le nombre de cellules ciliées externes détruites, en % du nombre total de cellules externes, pour les différents tours, chez les 5 cobayes. On remarque qu'en moyenne les destructions se trouvent principalement au niveau du 2ème tour. Comme on pouvait s'y attendre les cellules ciliées internes sont intactes (une seule cellule détruite sur l'ensemble des fragments examinés dans les 10 cochlées des 5 cobayes).

c) Discussion

Soulignons que nos observations étaient principalement centrées sur les aspects et l'évolution des formes des réponses et des courbes entrée-sortie, ainsi que sur les bilans anatomiques. La détermination des seuils du potentiel d'action et la mesure du microphonique cochléaire n'ont pas été effectuées avec un souci de grande précision, en raison en particulier du temps exigé pour de telles mesures. Etant donné d'autre part le caractère relativement modéré de l'agression sonore et les faibles variations des seuils du potentiel d'action et de l'amplitude du microphonique, les résultats, en ce qui concerne ces deux grandeurs, sont moins significatifs qu'ils ne le seraient lors de traitements otodestructifs plus importants (voir par exemple lors de l'action d'un antibiotique ototoxique à forte dose dans le paragraphe 222). Sur ces deux plans là on peut conclure cependant, en observant le tableau, Fig. 86, que les modifications sont notables pour les clics filtrés 8000 et 4000 Hz, légères pour le 2000 Hz et très faibles pour le 1000 Hz. Cela indique une atteinte préférentielle des premiers tours de la cochlée.

Sur le plan des formes des réponses et des courbes entrée-sortie les modifications sont beaucoup plus nettes et remarquablement comparables pour les 5 cobayes, et on observe toutes les caractéristiques des réponses "dissociées" décrites chez l'homme dans les cas de chute sur les aigus. Si on admet que les traumatismes sonores utilisés (bruit blanc à 110 dB pendant 6 heures) et leur répétition sont comparables à ce qui peut exister sur certains lieux de travail, on peut admettre aussi que les mécanismes d'induction de ces modifications sont les mêmes dans notre expérimentation que chez l'homme présentant les réponses "dissociées" typiques, ainsi que l'audiogramme, des surdités professionnelles.

Les lésions des cellules externes telles qu'on peut les observer au microscope à contraste de phase apparaissent très modérées. Bien que réparties sur l'ensemble des tours elles sont prédominantes au niveau du 2ème tour, ce qui est en parfait agrément avec

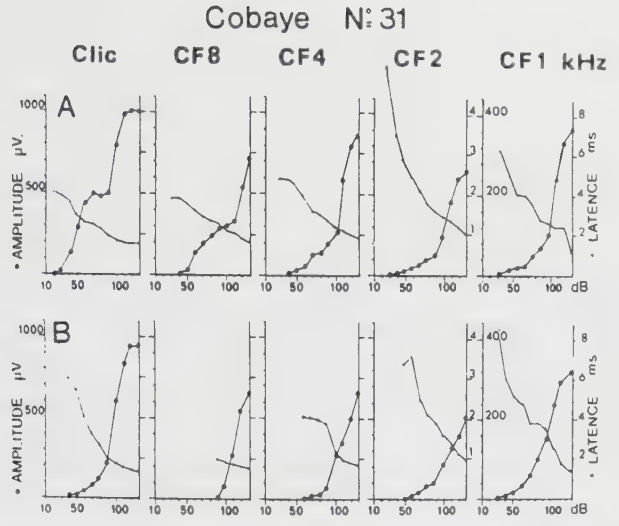


FIG. 84 - Comparaison des courbes entrée-sortie pour le clic et les clics filtrés au début (A) et à la fin (B) de l'expérimentation chez le cobaye n° 31. Remarquer le caractère dissocié des courbes pour le clic et recrutant pour le 8000 en (B), qui sont très semblables aux courbes obtenues pour les mêmes stimulations chez un sujet présentant une chute sur les aigus (n° 479, page 84).

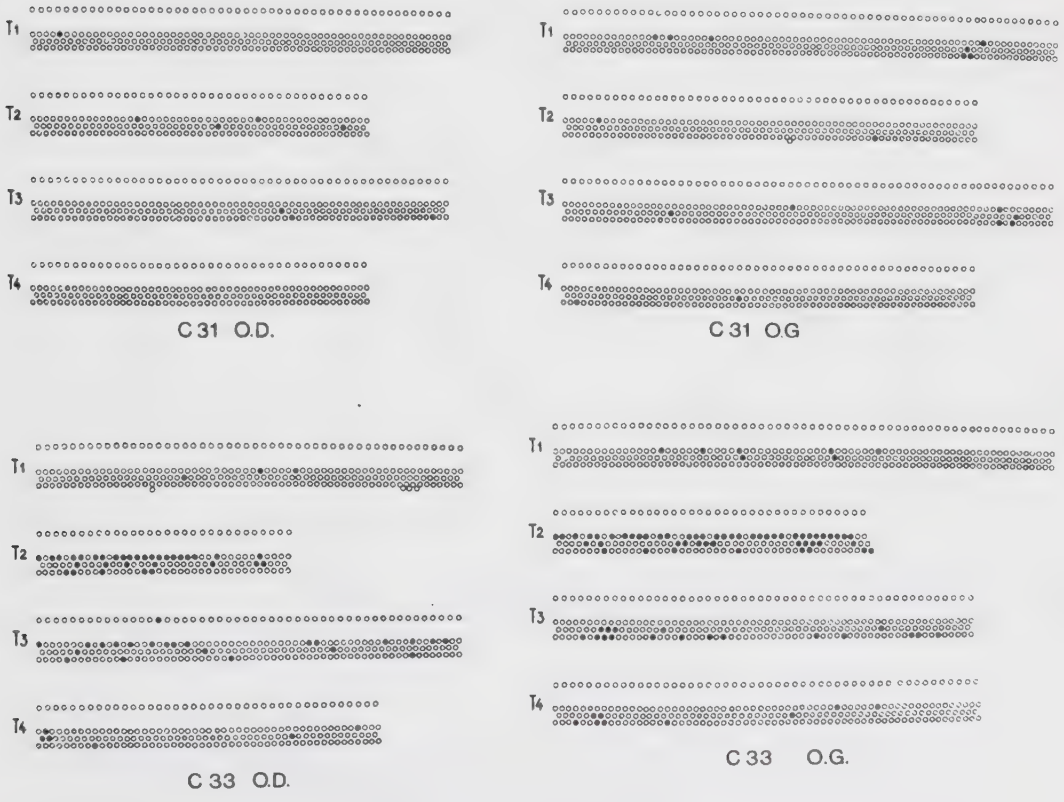


FIG. 85 - Comparaison des cochléogrammes des cochlées du cobaye n° 31 (qui présente, sur les 5 cobayes, le moins de destructions) avec ceux du cobaye n° 33 (qui est le plus atteint sur ce plan là).
● = cellule ciliée détruite.

ΔMC dB	Clic	8kHz	4kHz	2kHz	1kHz
ΔS.PA dB	*Clic*	*8*	*4*	*2*	*1*
ΔCCE %	Total	T1	T2	T3	T4
31	12,6 *20* 2,1	6,3 *50* 3,1	10,4 *20* 1,2	11,1 *20* 2,6	4,4 *0* 1
32	3,3 *15* 6,3	2,2 *20* 1,4	0,8 *50* 10,3	2,6 *30* 15,2	1,3 *0* 2
33	14 *10* 12,3	8,2 *50* 3,2	9,1 *50* 39,7	9,1 *30* 10	6 *10* 5
34	14 *20* 5,4	6,2 *40* 1,8	3,5 *30* 14,1	11,5 *30* 1,4	4,3 *0* 2
35	9,5 *10* 9	9,1 *45* 6,5	11,1 *40* 8,7	10,1 *10* 10,9	4,6 *5* 9,2

FIG. 86 - Tableau présentant, pour les 5 cobayes, les modifications :
- *du microphonique cochléaire (ΔMC, perte en dB),*
- *des seuils du potentiel d'action (ΔS.PA : dB) pour le clic et les clics filtrés,*
- *les destructions de cellules ciliées externes (ΔCCE en %) pour l'ensemble des tours (total) et aux différents tours (T1, T2, T3 et T4).*

le contenu spectral du bruit blanc et les propriétés mécaniques de la membrane basilaire. Le fait que ces lésions ne soient pas très localisées indique en outre que les réponses "dissociées" apparaissent dès qu'il y a des lésions des cellules externes, quelle que soit leur localisation. Chez l'homme, de la même manière on observe des réponses dissociées, non seulement dans les cas de chute sur les fréquences les plus aiguës (8000 Hz) mais aussi dans les cas de chute sur le 4000 avec remontée de la courbe audiométrique sur le 8000, voire dans les cas de chute sur les fréquences plus graves (voir les cas intermédiaires page108).

Par ailleurs, le fait que, chez ces cobayes, les réponses soient altérées de la même manière lorsque l'organe de Corti parait normal (au contraste de phase) (cobaye n° 31) que lorsqu'il est effectivement lésé (cobaye n° 33) suggère que ou bien des cellules ciliées apparemment normales (d'autant plus que le temps de récupération excède 5 semaines) peuvent ne pas être fonctionnelles, ou bien que les lésions primitives se situent à un autre niveau (terminaisons et fibres nerveuses) inaccessible au microscope à contraste de phase.

SPOENDLIN (1971, b) a décrit les différents niveaux auxquels on pouvait effectivement observer, au microscope électronique, des altérations immédiatement après le traumatisme sonore. Cependant, pour des intensités de 110 dB pendant 2 heures, il ne note aucune modification. Il est certain que, dans notre expérimentation, le traumatisme sonore, par sa durée (6 heures), sa répétition (6 fois) et le délai respecté avant le sacrifice a induit des modifications définitives.

Il est intéressant enfin de noter que, sur le plan des seuils comportementaux chez l'animal, certains auteurs s'accordent pour ne trouver que peu de modifications permanentes des seuils après traumatisme sonore modéré, alors qu'ils observent des altérations certaines et parfois importantes des cellules ciliées externes (WARD et DUVALL, 1971 ; MILLER et al., 1971). Nous trouvons ici, pour des lésions apparemment minimes, voire nulles, de l'organe de

Corti, une légère modification des seuils électrophysiologiques mais surtout, et ceci nous parait le fait le plus important, fait qui ne concerne pas le seul problème de l'audition liminaire, une modification très nette et significative des formes des réponses et des courbes entrée-sortie. Celles-ci impliquent une modification dans le déclenchement des fibres nerveuses et en conséquence dans la sensation auditive supra-liminaire.

Deuxième série expérimentale

Devant les résultats obtenus lors de cette première expérimentation, il nous a paru intéressant de préciser le rôle de la localisation des lésions des cellules ciliées externes le long de la membrane basilaire dans la forme des réponses obtenues, et nous avons essayé de réaliser d'une part des lésions vraiment localisées à la base, d'autre part des lésions généralisées tout le long de la membrane qui devraient nous permettre d'observer des réponses "recrutantes" non seulement en réponse au clic filtré aigu, mais également au clic non filtré.

Pour cela nous avons fait subir à 4 cobayes, des traumatismes sonores différents :

- 2 cobayes ont été exposés chaque jour, pendant 10 jours, à un son pur de 110 dB environ dont la fréquence évoluait lentement (en 5 minutes) de 15000 à 5000 Hz puis de 5000 à 15000 Hz sans interruption pendant 5 heures. Nous pensions ainsi, par ce balayage de son pur intense, affecter progressivement les différents points de la membrane basilaire, uniquement dans les premiers tours, et préserver les derniers tours.
- Inversement 2 autres cobayes ont été exposés 2 fois 5 heures, à 3 jours d'intervalle, à un balayage de son pur à 110 dB, de 15000 à 500 Hz. Nous pensions ici affecter l'intégralité de la membrane basilaire. Etant donné que le son pur basse fréquence concerne non seulement l'apex de la cochlée mais aussi les premiers tours, nous n'avons pas répété les traumatismes comme lors de l'utilisation du balayage en son pur uniquement aigu.

Pour les deux cobayes concernés par le traumatisme sonore aigu nous avons observé les réponses au clic et au clic filtré aigu (8000 Hz). Pour les deux autres cobayes, nous n'avons suivi que les réponses au clic. Dans les deux cas les observations sur les différents clics filtrés, les contrôles sur l'oreille droite et les bilans histologiques étaient effectués comme précédemment.

Traumatisme sonore aigu

Les résultats pour les deux cobayes 43 et 44 (traumatisme aigu) sont représentés sur les figures 87, 88 et 89 et les bilans histologiques sur la figure 90.

On constate d'emblée que les réponses au clic à la fin de l'expérimentation sont très nettement dissociées avec une latence très longue au seuil. Les réponses au clic filtré aigu sont très faibles, de latence courte et donc du type recrutant. On note en outre, par opposition aux cas précédents, la nette diminution de l'amplitude maximale de la réponse au clic.

Les réponses aux différents clics filtrés sont toutes affectées, en ce qui concerne les amplitudes maximales, d'une part, et en ce qui concerne les latences d'autre part (Fig. 88). Pour le clic on a les réponses "dissociées", pour le clic filtré 8000 des réponses recrutantes (Fig. 89). Pour le 4000 aussi (à partir du seuil à 70 dB les latences sont les mêmes qu'avant). Pour le 2000 et le 1000 les latences sont plus longues, même au maximum, sans doute en raison du fait que dans ces réponses globales aux clics filtrés basse fréquence, les éléments en provenance du premier tour sont absents après les traumatismes (Un phénomène identique beaucoup plus prononcé apparait, même sur les réponses au clic non filtré, lors de l'expérimentation suivante avec un antibiotique oto-toxique, § 222).

Sur le plan des bilans histologiques au microscope à contraste de phase on observe des lésions beaucoup plus prononcées qu'avec le traumatisme sonore précédent au bruit blanc, mais encore relativement peu localisées : tous les tours sont atteints, le plus

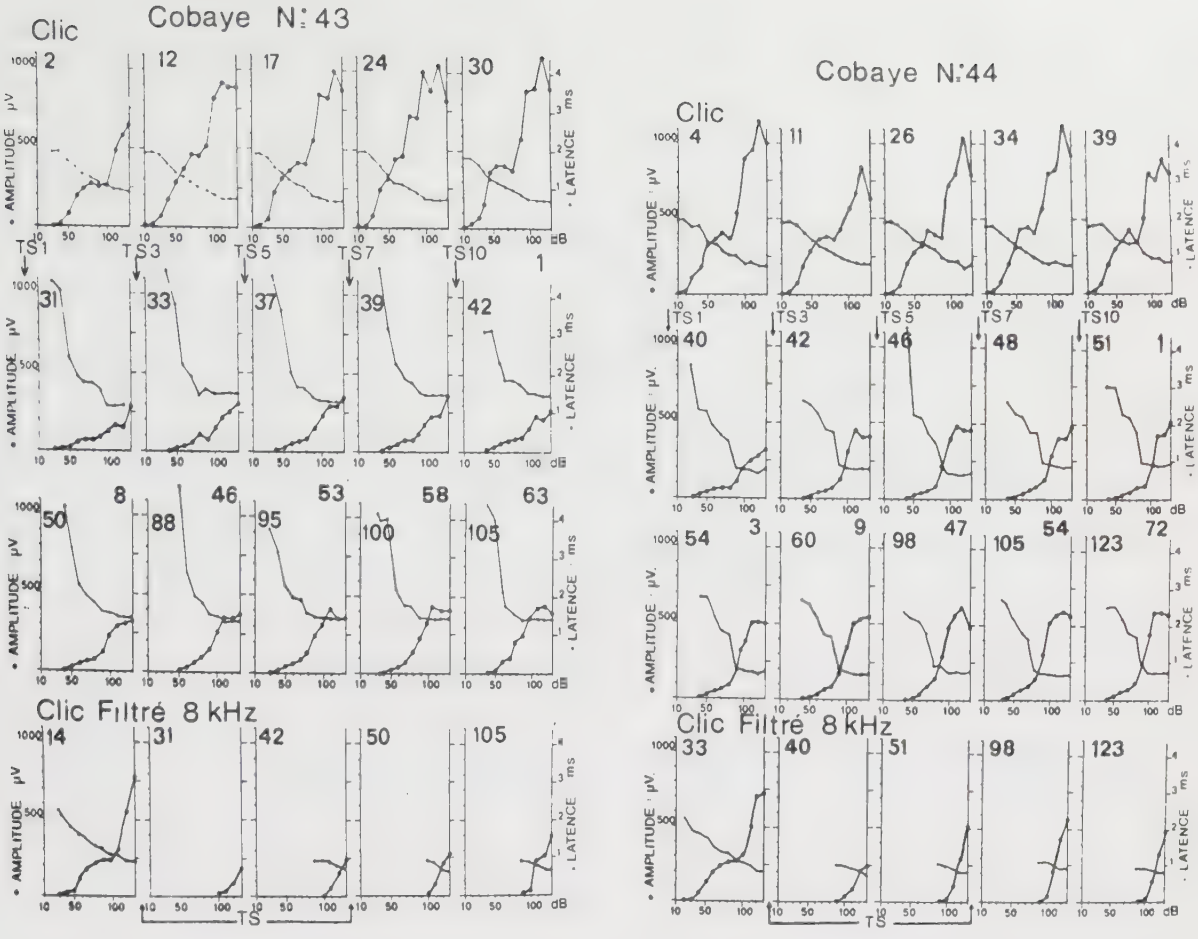


FIG. 87 - Evolution des réponses au clic avant, pendant et après les traumatismes sonores aigus pour les cobayes n° 43 et 44. En dessous : évolution des réponses au clic filtré 8000 Hz. Même représentation que pour les figures précédentes.

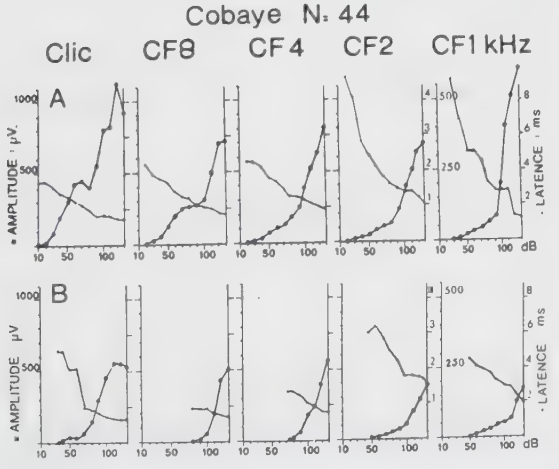


FIG. 88 - Comparaison des réponses au clic et aux clics filtrés au début et à la fin de l'expérimentation pour le cobaye n° 44 (traumatisme sonore aigu).

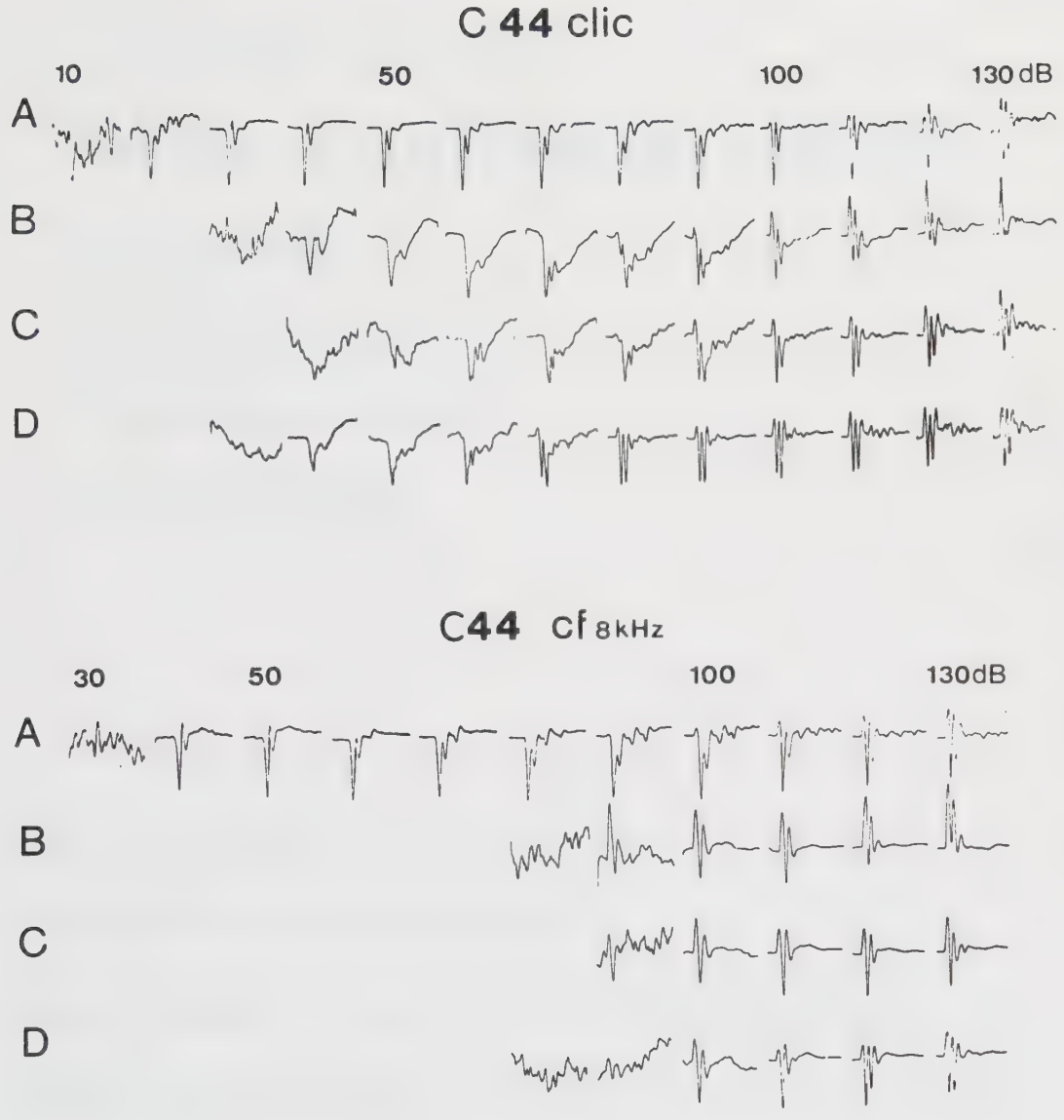


FIG. 89 - Comparaison des réponses au clic (en haut) et au clic filtré 8000 Hz (en bas) avant (A), le lendemain du premier traumatisme aigu (B), le lendemain du dernier (C) et à la fin de l'expérimentation (D). Pour les amplitudes, se reporter aux figures 87 et 88. On constate le caractère large et dissocié des réponses au clic (aux faibles intensités) et le caractère recrutant des réponses au 8000.

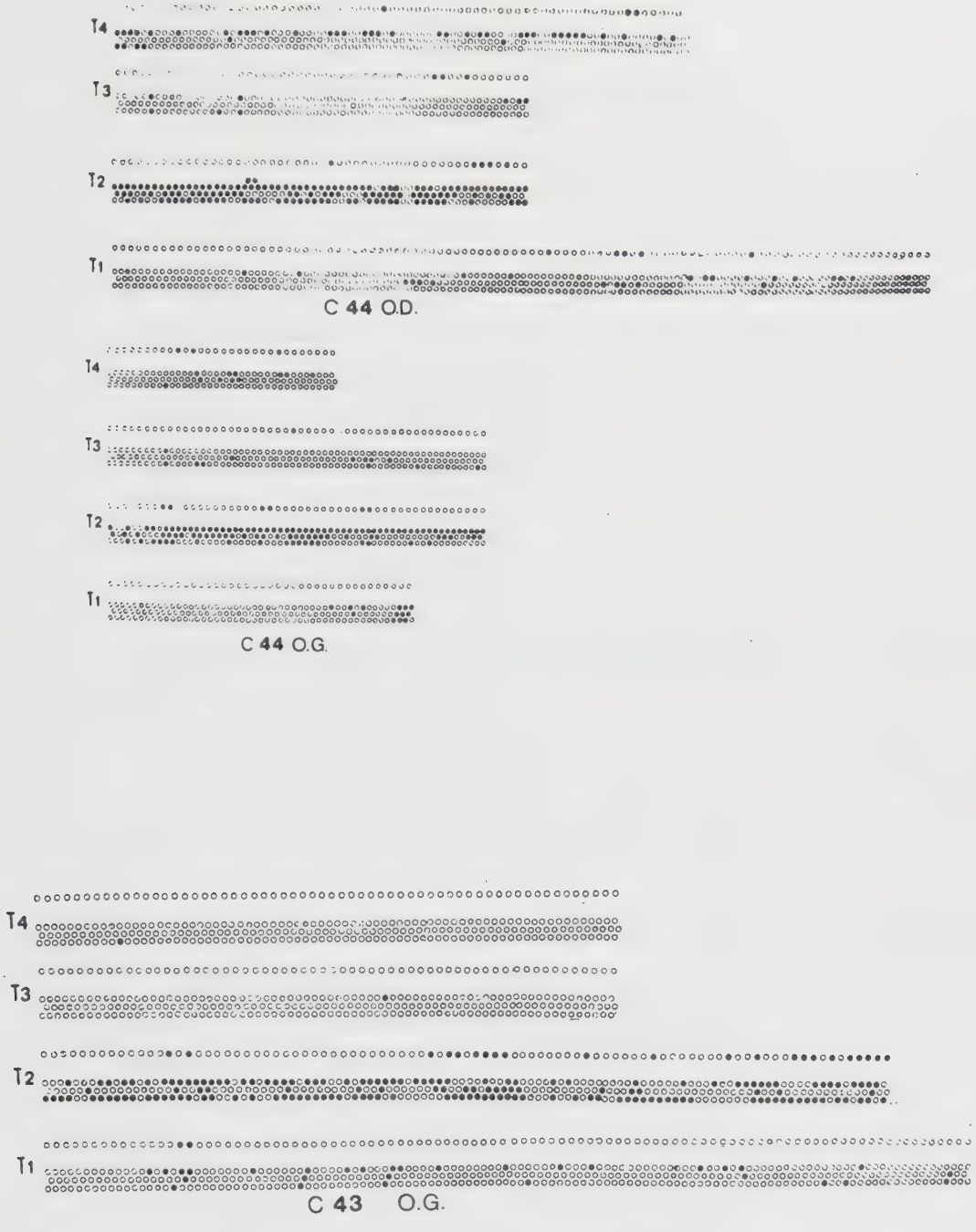


FIG. 90 - Cochléogrammes au contraste de phase des cochlées droite et gauche du cobaye n° 44 et gauche du cobaye n° 43 (traumatismes sonores aigus)
• cellules ciliées détruites.

touché étant toujours le 2ème tour, avec une destruction à 50 % des cellules ciliées externes et quelques lésions des cellules internes (≃ 20 %).

Traumatisme sonore à large spectre

Pour les deux autres cobayes (47 et 48) où la fréquence du son pur variait de 500 à 15000 Hz les résultats sont différents d'un cobaye à l'autre : pour le cobaye n° 47 on observe des réponses au clic "dissociées" (Fig. 91), alors que pour le cobaye 48 elles sont pratiquement "recrutantes" puisqu'on n'y observe des réponses de latence longue et d'amplitude très faible qu'à deux intensités (50 et 60 dB). Pour les deux cobayes on note que les amplitudes maximales, après récupération, sont les mêmes qu'avant les traumatismes (Fig. 91).

Les réponses aux clics filtrés sont également recrutantes, pour le cobaye n° 48, car les latences aux seuils sont nettement plus courtes, alors qu'au maximum elles sont identiques (Fig. 92, 93 et 94).

Les organes de Corti apparaissent légèrement affectés au niveau des cellules ciliées externes sur tous les tours, mais toujours principalement au 2ème tour (Fig. 95).

En conclusion sur cette nouvelle série expérimentale, il apparait que si les effets de ces deux traumatismes sonores (aigu et à large spectre) sont différents sur le plan des formes des réponses, et conformes à ce que l'on pouvait attendre compte tenu des spectres des sons utilisés, ces effets sont beaucoup moins nets et significatifs sur le plan des altérations de l'organe de Corti. En dehors du fait que ce sont principalement les cellules ciliées externes qui sont atteintes, et préférentiellement au niveau du 2ème tour, dans les deux cas, il semble difficile d'établir une correspondance plus poussée entre les traumatismes sonores utilisés, les formes des réponses et les lésions de l'organe de Corti. Il semble que l'observation au microscope à contraste de phase, ne per-

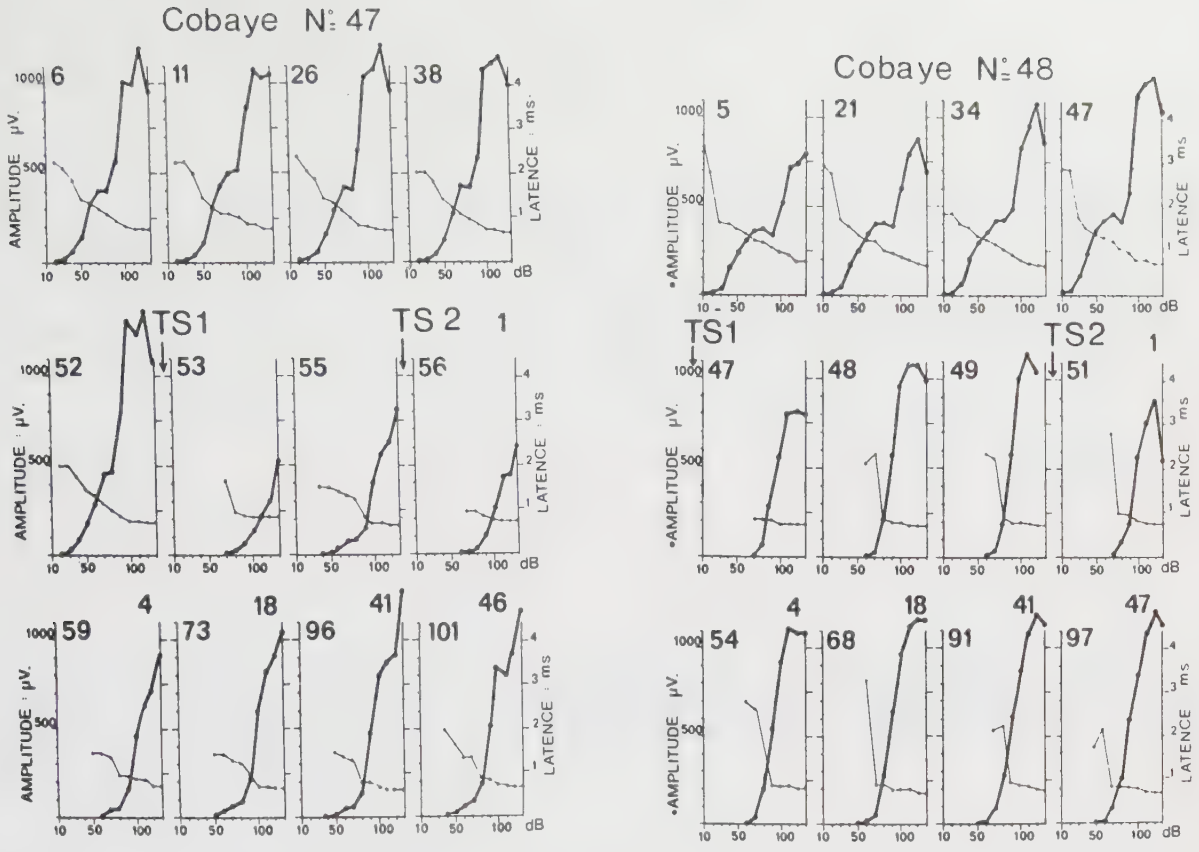


FIG. 91 - Evolution des courbes entrée-sortie (clic) pour les deux cobayes 47 et 48 avant, pendant et après les deux traumatismes sonores par balayage en son pur de 110 dB de 15000 à 500 Hz (5 heures). Des deux cobayes, seul le n° 48 présente des réponses presque recrutantes (seulement deux points à 50 et 60 dB d'amplitude très faible et de latence longue). Mêmes symboles que pour les figures précédentes.

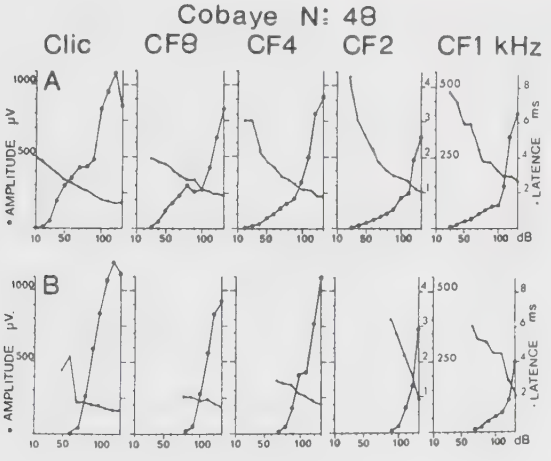
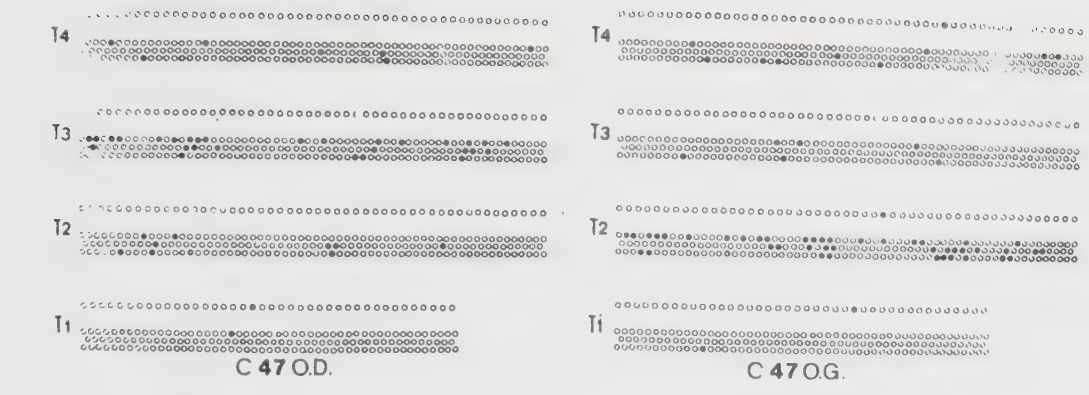


FIG. 92 - Réponses au clic et aux clics filtrés avant (A) et 47 jours après (B) les traumatismes. On remarque le caractère recrutant des courbes pour le 8000 et le 4000 Hz. Pour le 2000 et le 1000 Hz, les réponses seraient également recrutantes si on tient compte des remarques faites sur la variation de la latence lors de l'augmentation de l'intensité du clic basse fréquence (Fig. 77, page 186).

FIG. 93 - Comparaison des réponses au clic avant (A), le lendemain du premier traumatisme (B), le lendemain du dernier (C) et la veille du sacrifice, 47 jours après (D). On constate que N1 apparait beaucoup plus vite que pour les cobayes de la première série expérimentale (Fig. 89). (Traumatisme en balayage de son pur sur un large spectre).

FIG. 94 - Comparaison des formes des réponses au clic et aux clics filtrés à 130 dB, avant (A) le premier traumatisme et la veille du sacrifice (B). Les réponses sont plus rapides et plus synchronisées en B, en particulier on distingue différents pics sur la réponse au 1000 Hz, cela du fait de l'absence de réponses tardives dans la réponse globale, absence due au silence des structures externes de la quasi-totalité de la cochlée (traumatisme en balayage de son pur sur un large spectre).



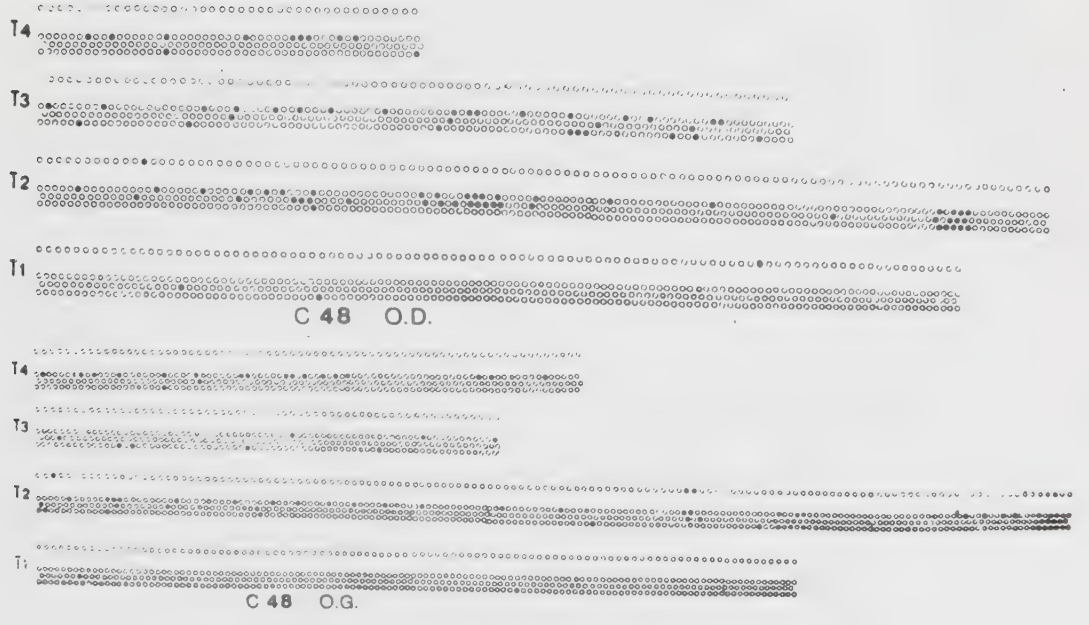


FIG. 95 - Cochléogrammes au contraste de phase des cochlées droite et gauche des cobayes n° 47 et 48 (traumatisme sonore en balayage de son pur sur un large spectre).
• cellule ciliée détruite. Les lésions sont minimes, limitées aux seules cellules externes et réparties sur l'ensemble des tours de la cochlée.

mettant que de remarquer l'absence ou la présence des cellules ciliées, soit insuffisante pour rendre compte d'altérations fonctionnelles des cellules et des fibres nerveuses que seule la microscopie électronique nous permet d'approcher.

Modifications ultrastructurales des organes de Corti lors des traumatismes sonores (1ère et 2ème séries expérimentales).

Les fragments des organes de Corti non observés en microscopie à contraste de phase des cochlées des 5 cobayes exposés au bruit blanc (31 à 35), des 2 cobayes exposés au balayage en son pur aigu (43 et 44) et des 2 cobayes exposés au balayage en son pur à large spectre (47 et 48) ont été observés en microscopie électronique*.

Sans décrire dans le détail les observations réalisées sur plus de 170 grilles, nous pouvons dégager les caractères principaux des modifications observées par rapport aux organes de Corti normaux, étant donné que, sur le plan ultrastructural, les différentes agressions sonores produisent les mêmes effets, les spectres des bruits n'intervenant que dans la localisation des lésions sur la membrane basilaire.

On note :

1) Une augmentation très nette du nombre de membranes périphériques des cellules sensorielles externes (Fig. 96). Une telle augmentation n'a jusqu'à présent jamais été observée chez le cobaye normal, ni chez les cobayes ayant été soumis à des traitements par antibiotique ototoxique (DARROUZET, 1973). Il pourrait s'agir d'un début de formation de corpuscule de HENSEN, tels qu'on les observe en très grand nombre après traumatisme sonore plus intense (SPOENDLIN, 1971 b ; ENGSTROM et al., 1970). Cette augmentation du nombre de membranes peut venir modifier le fonctionne-

---

* Par Melle Ch. COSTE et le Dr J. DARROUZET, grâce à l'aimable coopération du Laboratoire d'Histologie (Pr G. MAYER) et de l'Unité INSERM du Pr BLANQUET.

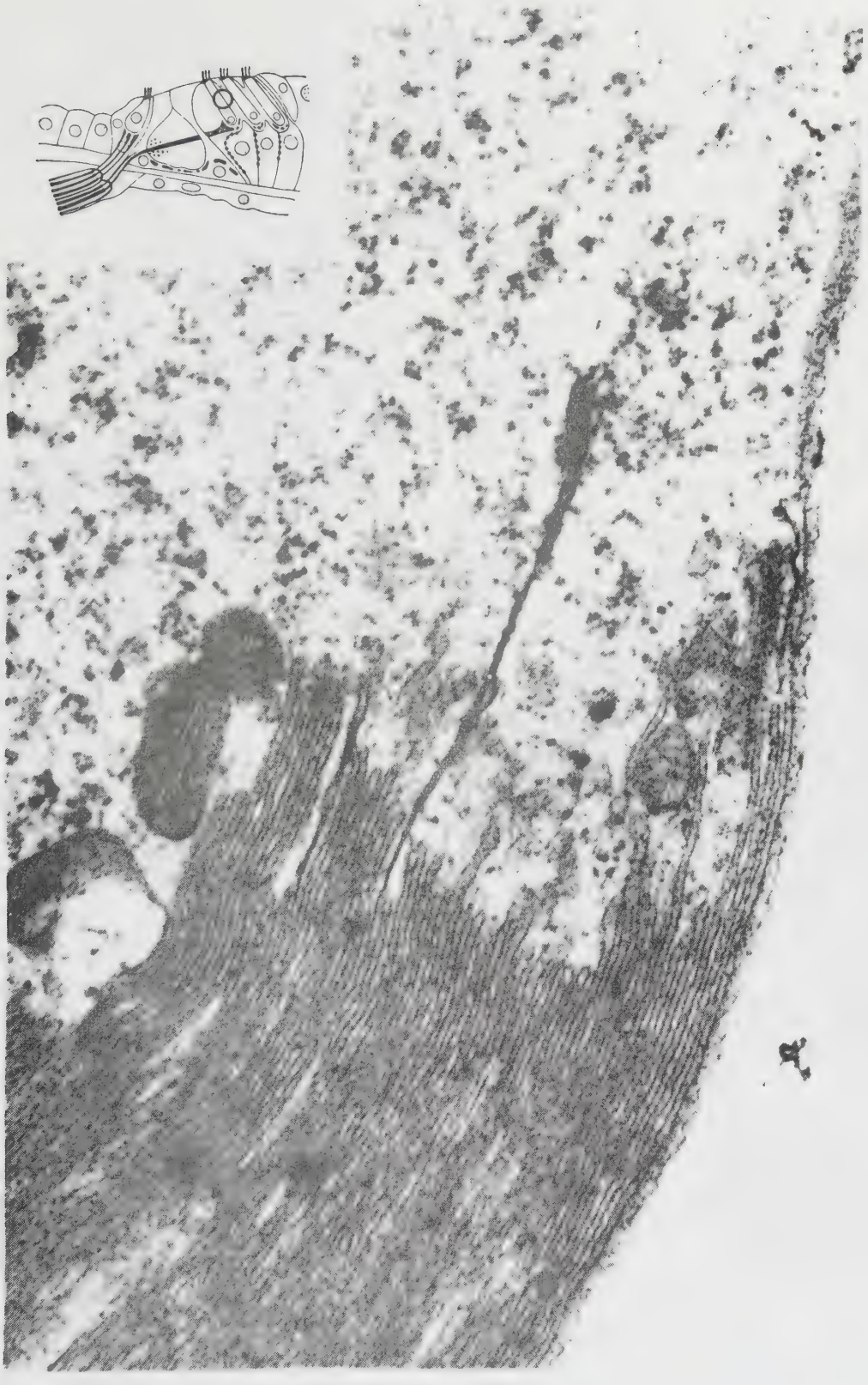


FIG. 96 : - Cobaye n° 48, oreille droite, 3ème tour. Cellule ciliée externe. Exemple de prolifération de membranes périphériques (X15000). L'emplacement et l'orientation de la coupe sont représentés sur le schéma de l'organe de Corti (O).

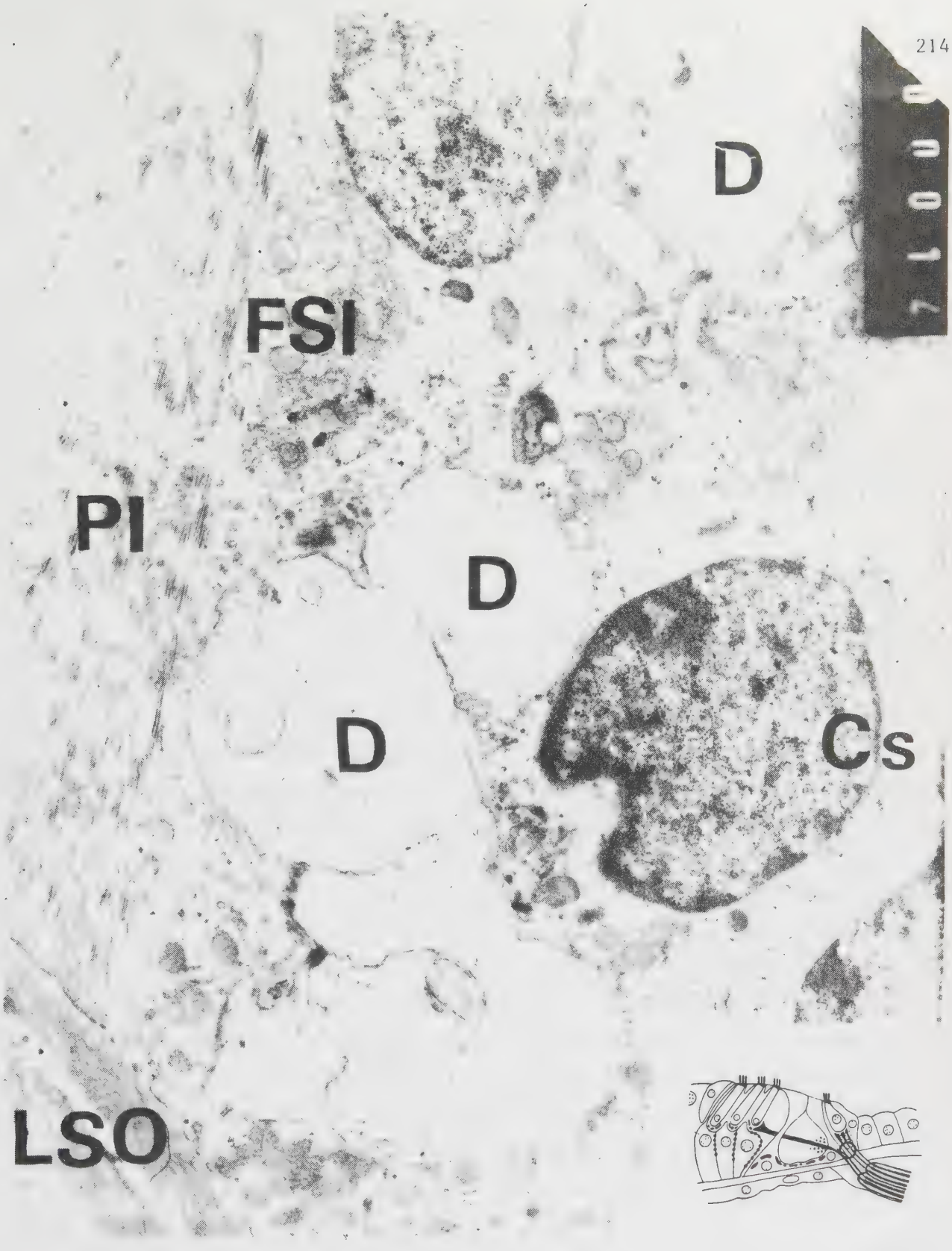


FIG. 97 - Cobaye n° 43, oreille gauche, 2ème tour. Plexus spiral interne comportant un grand nombre de dendrites œdématiés (D) juste avant le contact avec le pied de la cellule ciliée interne. FSI : Faisceau spiral interne. LSO : lame spirale osseuse. P.I. : pilier interne. Cs : cellules satellites (X5590). L'emplacement et l'orientation de la coupe sont représentés sur le schéma de l'organe de Corti.(O).

ment de la cellule ciliée tant en ce qui concerne sa propre excitabilité que ses possibilités d'excitation des terminaisons nerveuses qui lui sont connectées.

2) Une augmentation, tant sur le nombre que sur la taille, des neurones oedématiés que l'on trouve normalement dans le plexus spiral interne, au pied des cellules ciliées internes (Fig. 97). Il s'agit de fibres radiales afférentes qui vont aux cellules ciliées internes. Ces gonflements des dendrites afférentes ne sont pas spécifiques des traumatismes sonores car on les rencontre lors de l'anoxie (SPOENDLIN, 1971) et lors de la section du faisceau olivo-cochléaire croisé (au plancher du 4ème ventricule) (IURATO, 1971).

L'interprétation sur le plan fonctionnel de ces altérations ne peut être poussée très loin d'autant plus que ces observations, certes très fines, sont trop fragmentaires et que, à l'opposé des observations plus grossières mais plus globales réalisées au microscope à contraste de phase, on ne peut quantifier l'importance des lésions ni globalement, ni localement dans les différents tours de spire de la cochlée. Il faudrait réaliser des coupes ultrafines sériées pour arriver à une représentation précise de la condition, sur le plan ultra-structural, des différentes structures sensorielles et nerveuses de l'organe de Corti. Ce travail extrêmement long et minutieux n'a à notre connaissance été entrepris que par SPOENDLIN et il était hors de question de l'envisager dans notre étude. Aussi nous ne pouvons que reprendre les conclusions de SPOENDLIN (1971) et dire que les modifications que nous observons sont, eu égard au caractère relativement modéré des traumastismes sonores, davantage l'image d'une décompensation métabolique des structures sensorielles et nerveuses due à leur sur-stimulation que les résultats d'une agression mécanique directe.

En conclusion les observations au microscope à contraste de phase et au microscope électronique n'apportent pas d'informations très précises sur la nature et la localisation des lésions,

mais cela peut-être uniquement du fait du caractère modéré des agressions, alors que les observations électrophysiologiques donnent des images pathologiques très significatives. Cependant, lors de l'expérimentation suivante, utilisant un antibiotique ototoxique (la Kanamycine) comme agent otodestructeur, les résultats sur le plan des bilans anatomiques sont beaucoup plus significatifs.

222 — Antibiotique ototoxique

a) Protocole expérimental

3 cobayes équipés de l'électrode sur la fenêtre ronde, présentant des réponses normales pendant plus d'un mois, ont été soumis à un traitement de Kanamycine administrée par voie intramusculaire à des doses calculées sur la base de 400 mg/kg/jour, pendant 8 jours. Les réponses au clic, depuis le seuil jusqu'à 130 dB ont été enregistrées chaque jour pendant le traitement et pendant 15 jours après celui-ci, puis chaque semaine pendant plus de 7 mois après le traitement. Les réponses aux clics filtrés ont été enregistrées avant, 3 mois et 7 mois après le traitement. Leur audition était observée par ailleurs par l'observation du réflexe de PRAYER lors de claquements. Enfin leur état général était suivi par la mesure de leur poids. Le jour du sacrifice les réponses de l'oreille non équipée de l'électrode étaient enregistrées et les deux cochlées prélevées pour observation au microscope à contraste de phase.

b) Résultats

(Cobayes 36, 37 et 39, Fig. 98 à 108).

Pendant le traitement :

Les réponses ne sont pas modifiées pendant les 8 jours du traitement, on note seulement une légère élévation de l'amplitude maximum les deux derniers jours. Le poids des cobayes, dont les variations peuvent nous indiquer l'effet de l'antibiotique sur l'or-

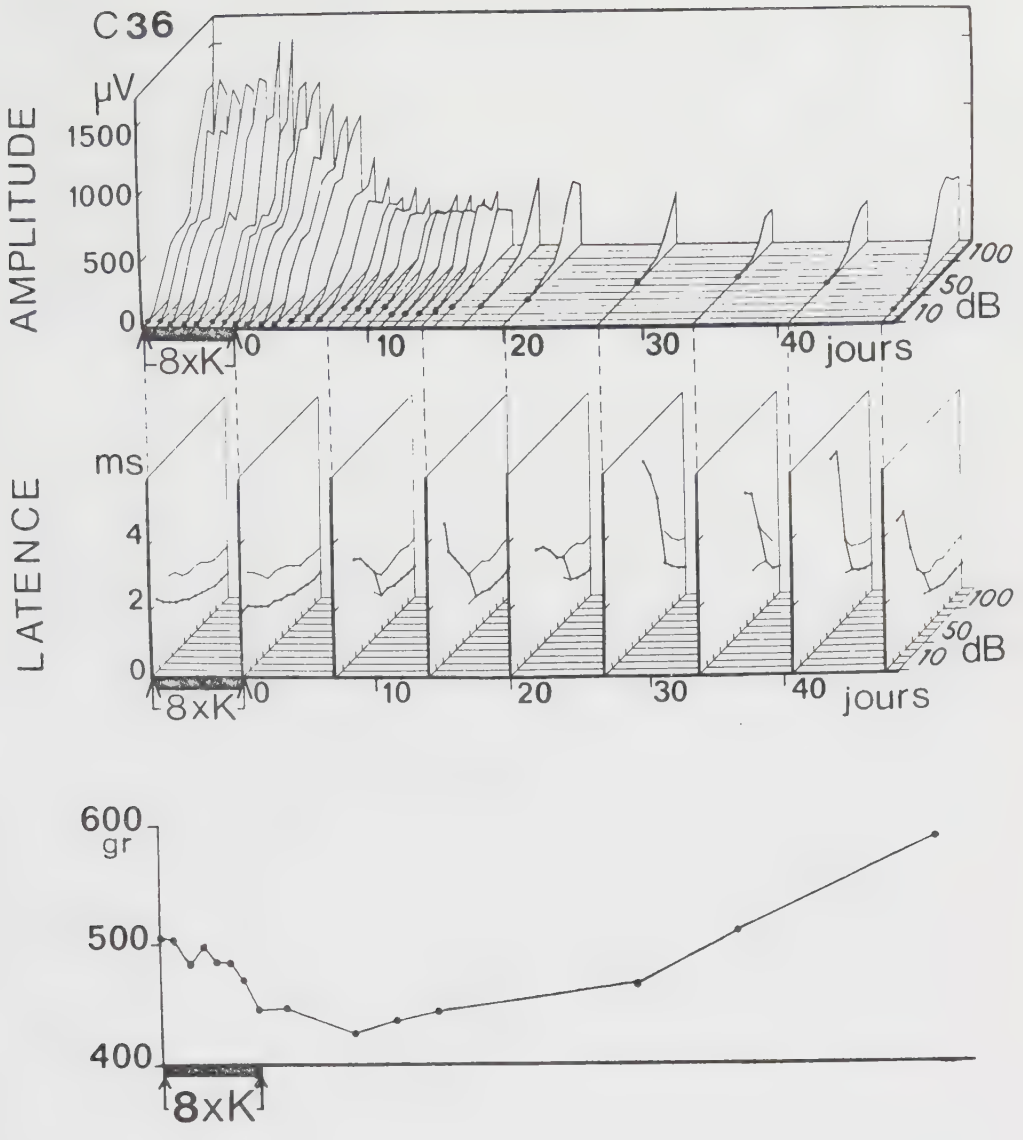


FIG. 98 - Cobaye n° 36 : évolution de l'amplitude et de la latence des réponses au clic et du poids du cobaye, pendant et durant 6 semaines après le traitement de Kanamycine. Sur cette figure et les suivantes deux latences sont représentées: en gros points (•) et trait épais ▬, la latence du pic le plus négatif de la trace (et donc celle de N1 avant que les réponses se modifient) ; en petit point (.) et trait fin– la latence d'un deuxième pic moins négatif, qui suit N1 (c'est alors N2, avant que les réponses se modifient) ou qui précède N2 (et c'est alors N1 quand celui-ci est plus petit que N2). L'amplitude est toujours l'amplitude crête-à-crête du signal global.

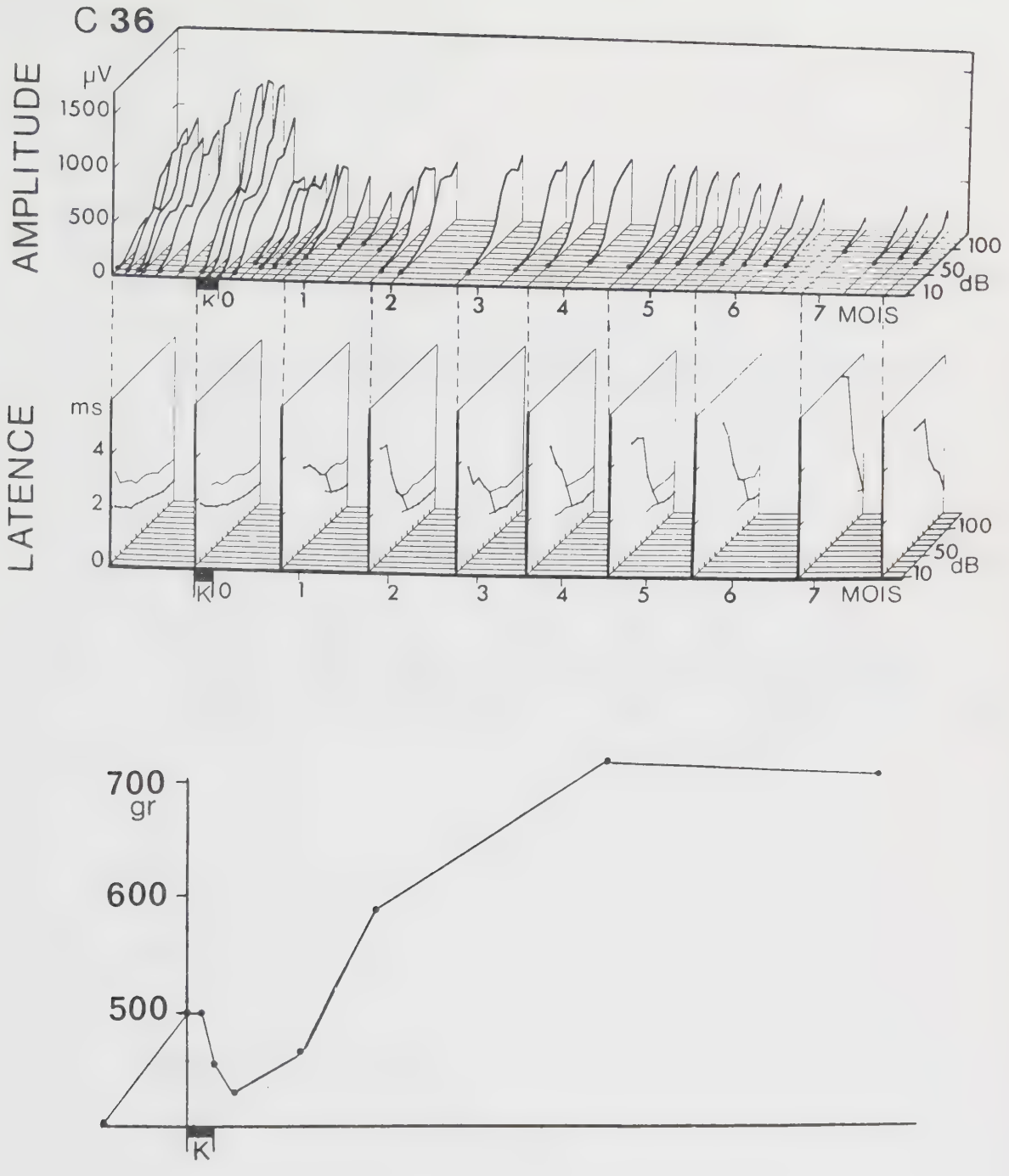


FIG. 99 - Cobaye n° 36 : évolution de l'amplitude et de la latence des réponses au clic, et du poids du cobaye, avant, pendant et durant plus de 7 mois après le traitement de Kanamycine.

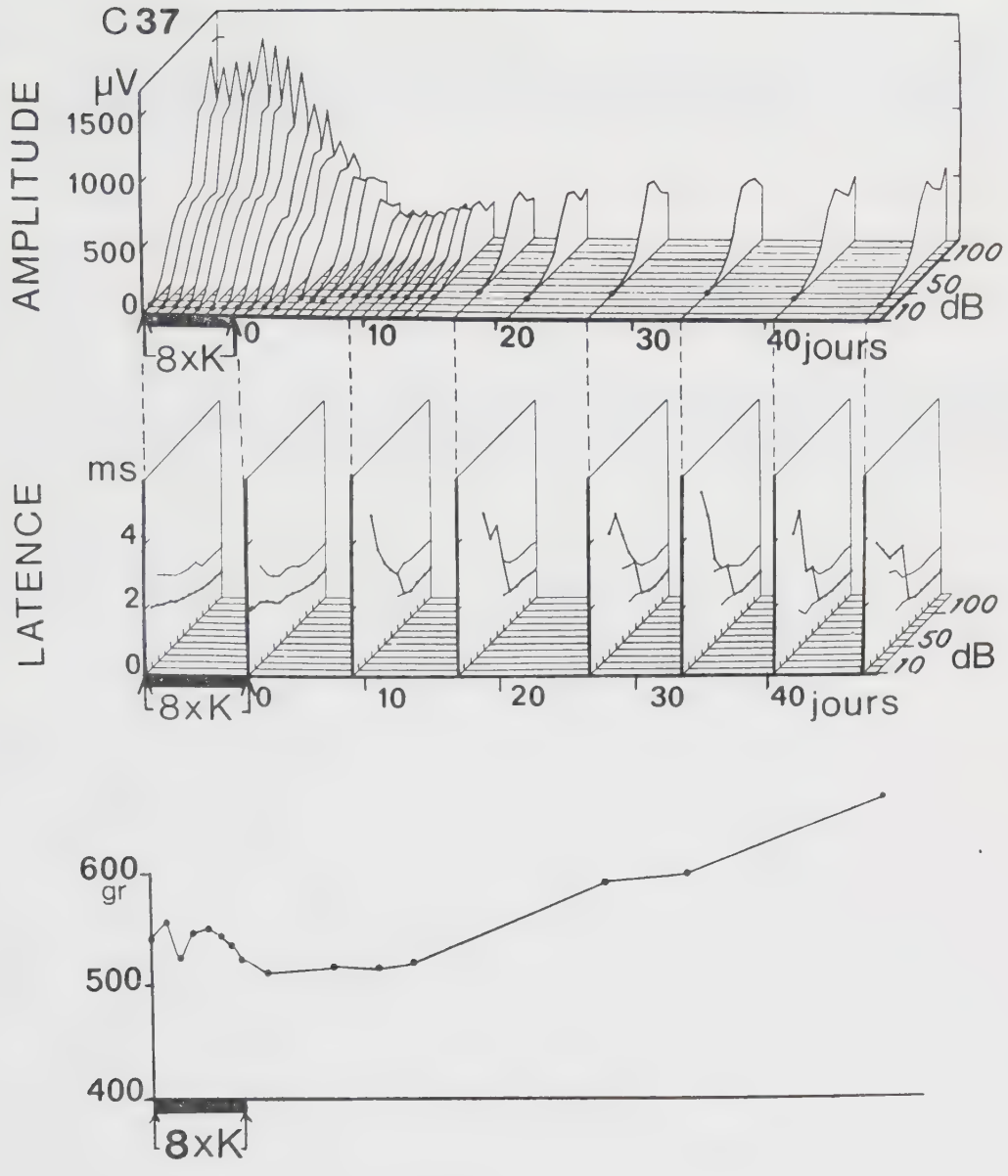


FIG. 100 - Cobaye n° 37 : évolution de l'amplitude et de la latence des réponses au clic, et du poids du cobaye, pendant et durant 6 semaines après le traitement de Kanamycine.

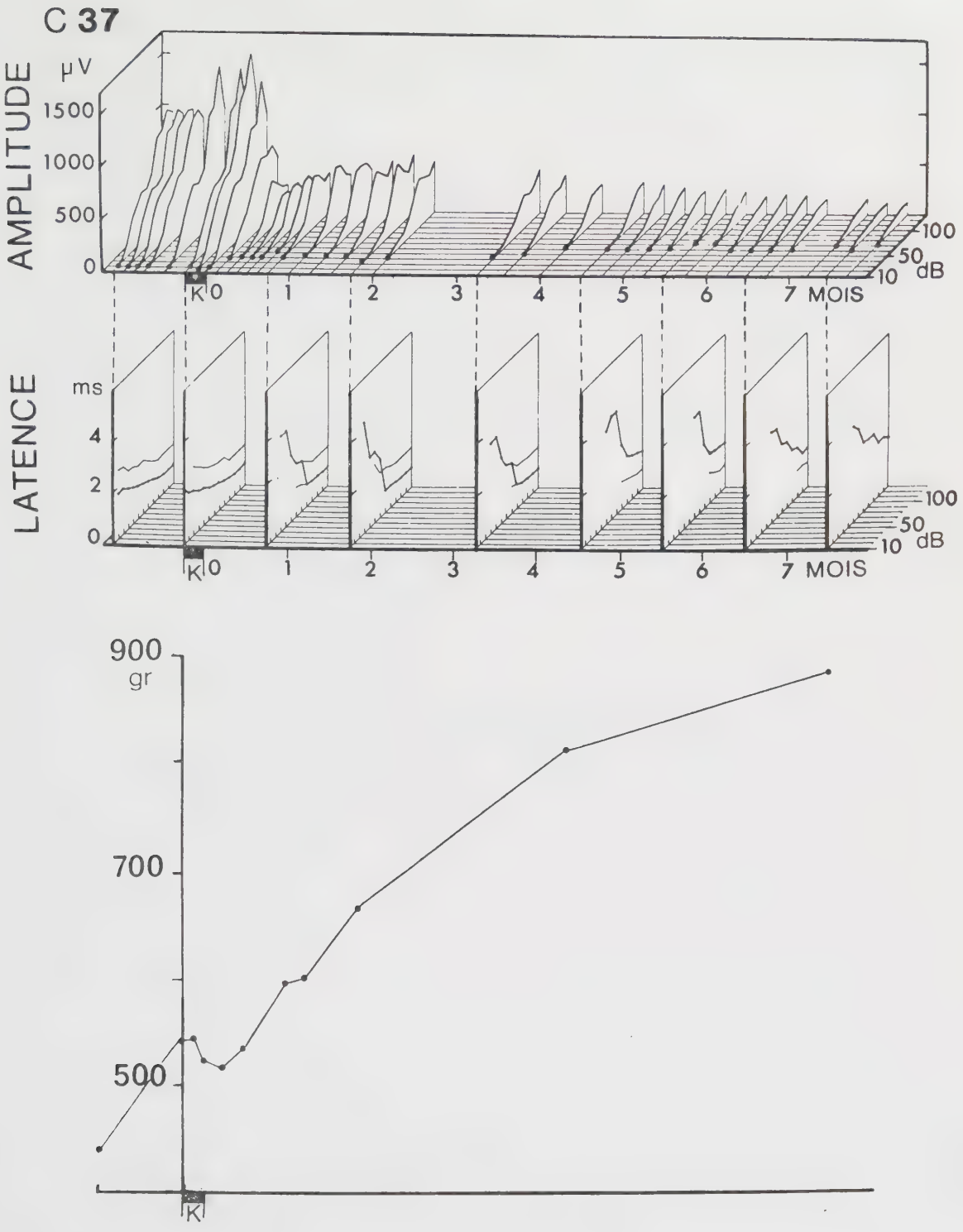


FIG. 101 - Cobaye n° 37 : évolution de l'amplitude et de la latence des réponses au clic et du poids du cobaye, avant, pendant et durant plus de 7 mois après le traitement de Kanamycine.

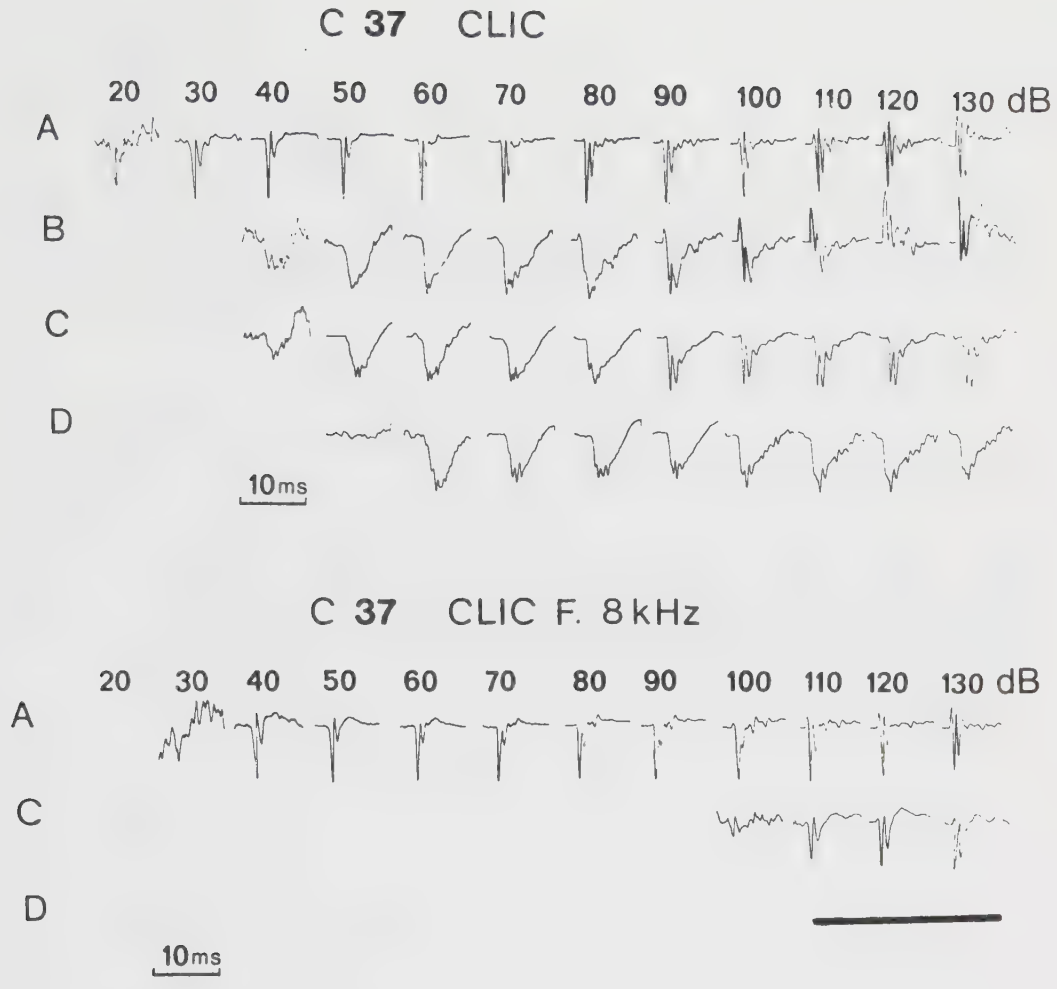


FIG. 102 - Cobaye n° 37. Réponses au clic non filtré (en haut) et au clic filtré 8000 Hz (en dessous) au début du traitement de Kanamycine (A), 8 jours après la fin du traitement (B), 3 mois (C) et 7 mois (D) après. On constate la disparition totale des réponses au clic filtré aigu, qui correspond à la disparition totale de N1 dans les réponses au clic non filtré qui ne sont plus constituées que d'une réponse large et tardive (voir les courbes correspondantes sur les figures précédentes).

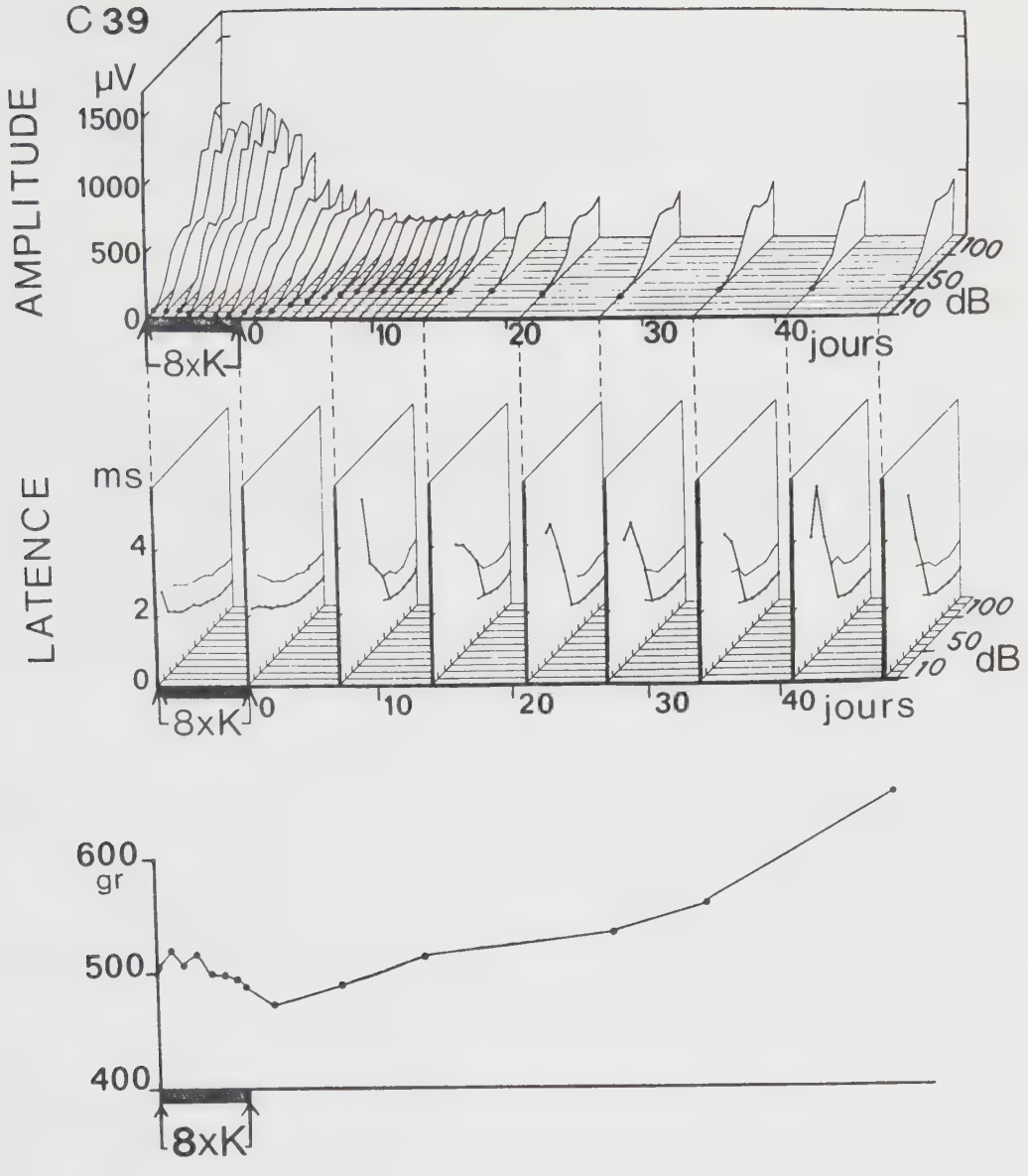


FIG. 103 - Cobaye n° 39 : évolution de l'amplitude et de la latence des réponses au clic et du poids du cobaye, pendant et durant 6 semaines après le traitement de Kanamycine.

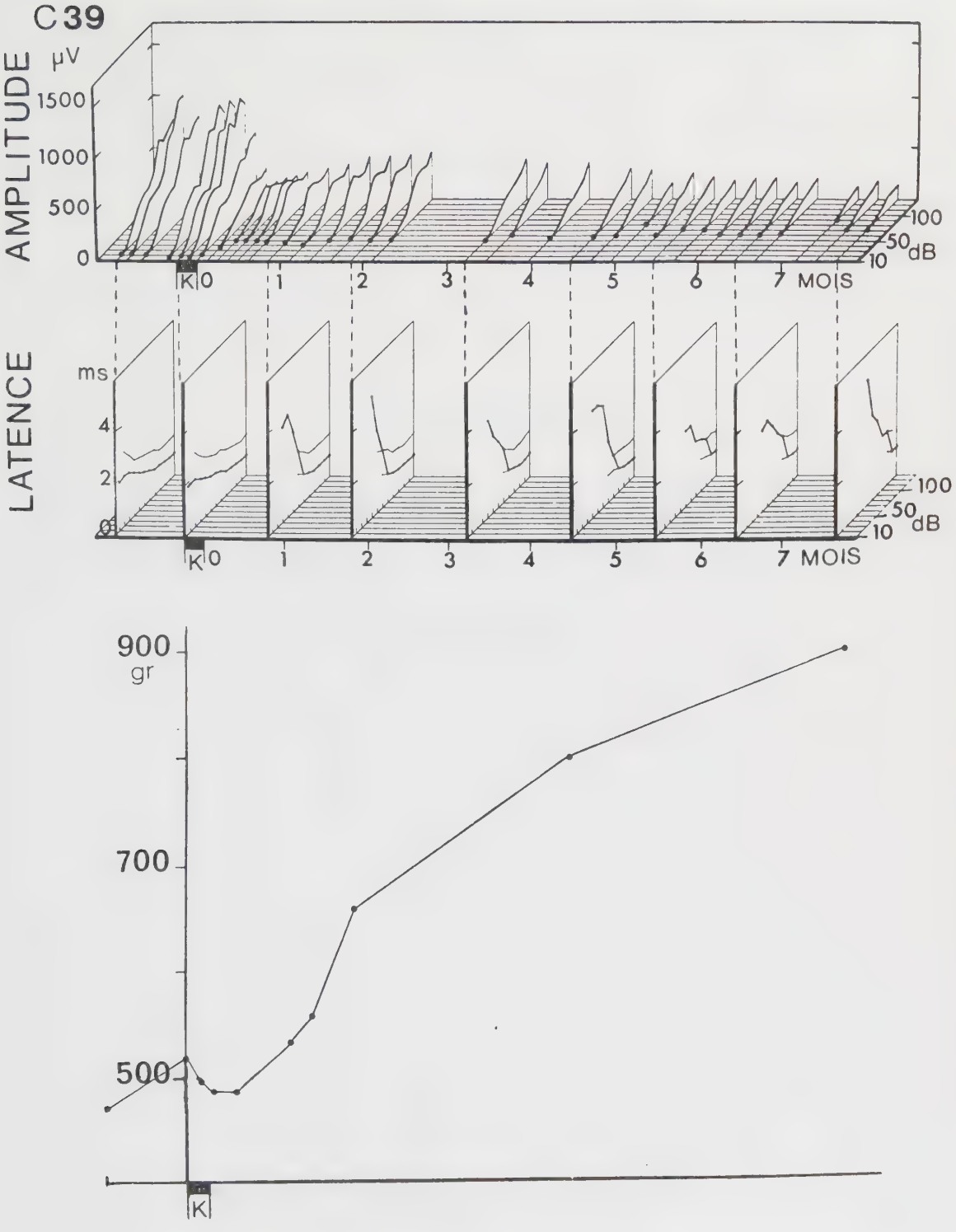


FIG. 104 - Evolution de l'amplitude et de la latence des réponses au clic et du poids du cobaye, avant, pendant et durant plus de 7 mois après le traitement de Kanamycine. (Cobaye n° 39)

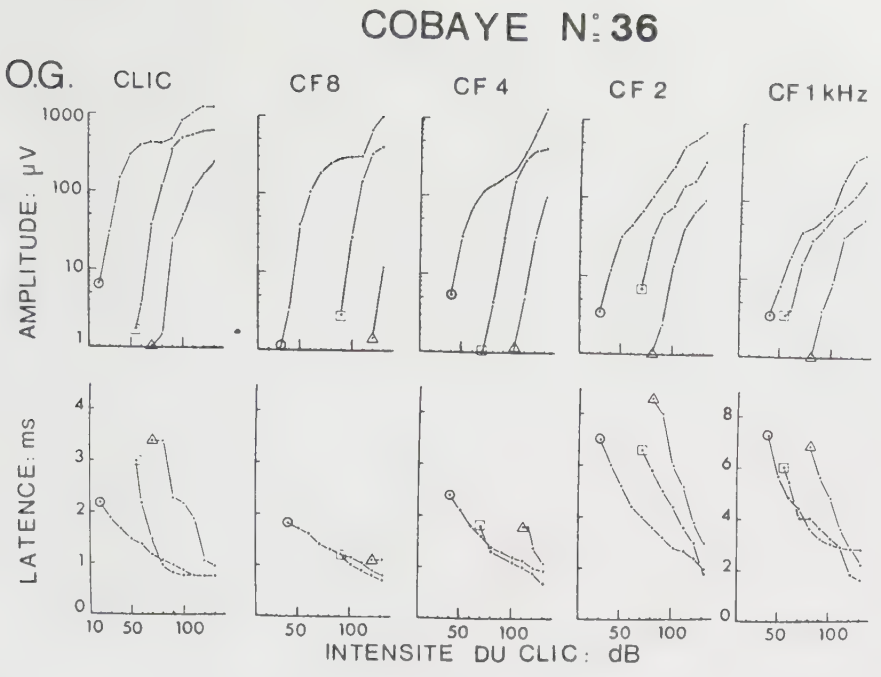


FIG. 105 - Cobaye n° 36 : amplitudes et latences des réponses au clic et aux différents clics filtrés : o avant, □ 3 mois et Δ 7 mois après le traitement de Kanamycine (Ordonnées logarithmiques pour l'amplitude, linéaires pour la latence).

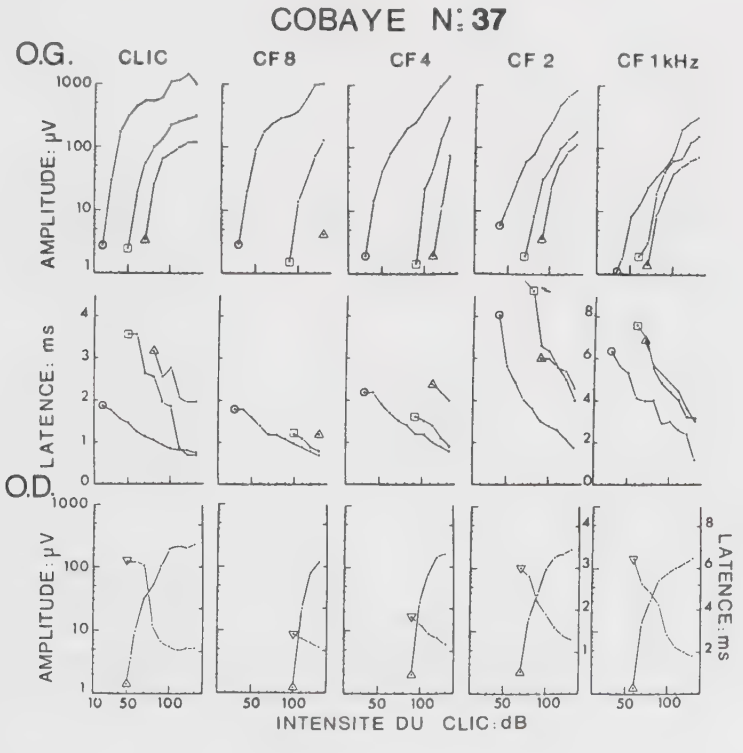


FIG. 106 - Cobaye n° 37 : amplitudes et latences des réponses au clic et aux différents clics filtrés : o avant, □ 3 mois et Δ 7 mois après le traitement de Kanamycine. En bas, réponses de l'oreille droite le jour du sacrifice.

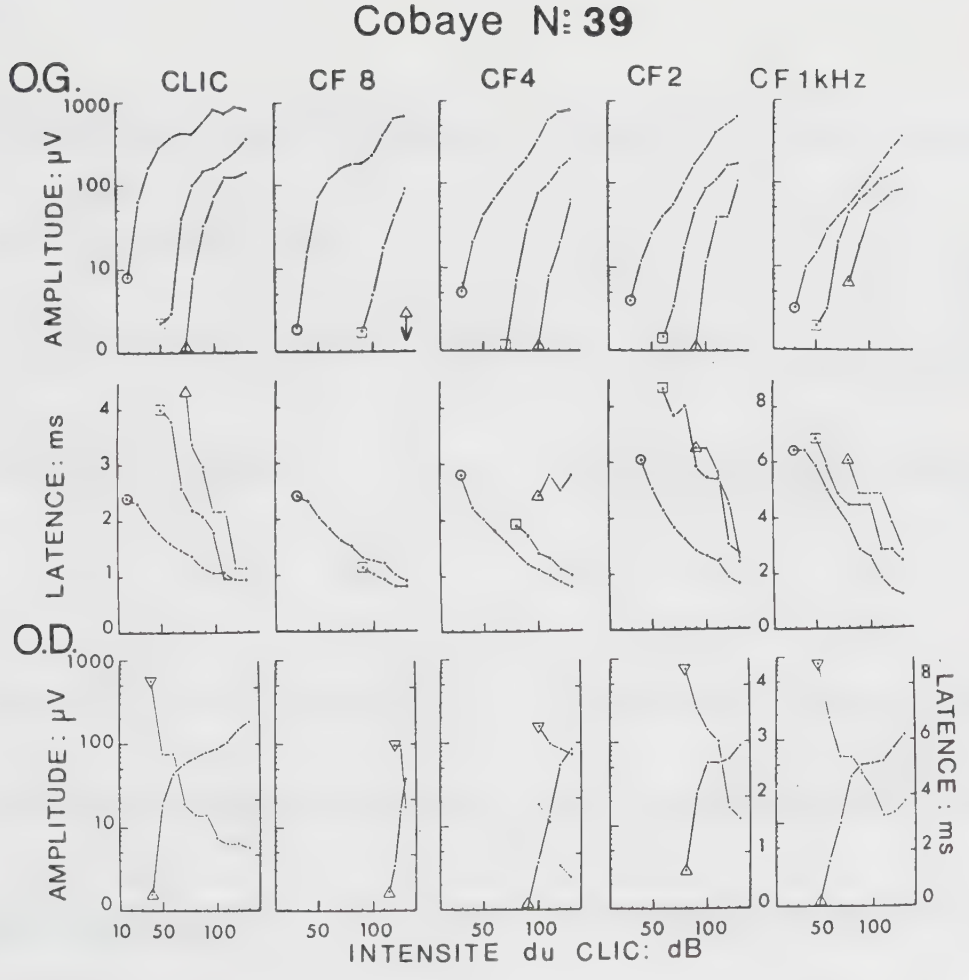


FIG. 107 - cobaye n° 39 : amplitudes et latences des réponses au clic et aux différents clics filtrés : ○ avant, □ 3 mois et △ 7 mois après le traitement de Kanamycine. En bas réponses de l'oreille droite le jour du sacrifice.

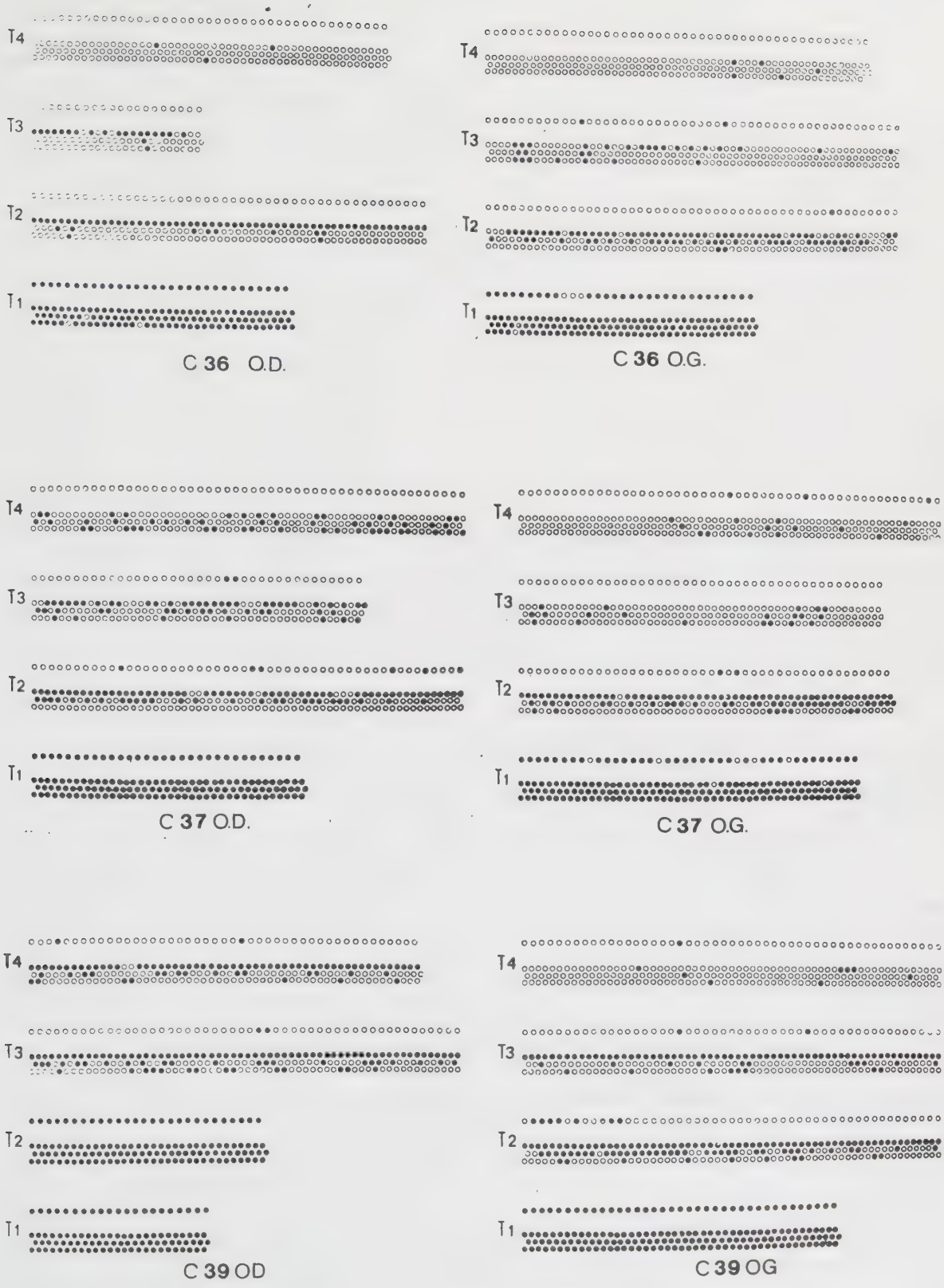


FIG. 108 - Cochléogrammes au contraste de phasedes cochlées droite et gauche des cobayes n° 36, 37 et 39.
● = cellule ciliée détruite.

ganisme en général, diminue légèrement vers la fin du traitement.

Après le traitement :

1) Les réponses se modifient très rapidement. On note dès les premiers jours après la fin du traitement :

   — une élévation du seuil (de 20 à 30 dB environ) ;

   — une augmentation très importante de la latence au seuil qui traduit en fait une absence de N1 aux faibles intensités, alors que N2 est présent. C'est pour cela que l'on a représenté sur les courbes latence, les latences de N1 et N2, la courbe en trait épais (Gros points) reliant les points qui correspondent à la latence du pic le plus négatif de la trace. On peut remarquer ainsi la transition brutale de N2 vers N1 vers 70 dB.

   — une diminution très nette de l'amplitude aux faibles et aux fortes intensités, la courbe amplitude ne présentant plus le plateau et ayant une allure exponentielle.

   — cette évolution se poursuit pendant environ 10 jours après le traitement.

   — l'ensemble des courbes (ainsi que les formes des réponses) rappelle les réponses type "dissocié" rencontrées chez l'homme dans les cas de surdité sur les aigus.

   — pendant cette période le poids a nettement diminué.

2) Cette période est suivie d'une période de récupération, surtout au niveau de l'amplitude maximum. Les courbes restent cependant de type très nettement dissocié, avec une latence longue au seuil et une forme exponentielle pour la courbe amplitude.

   Cette évolution favorable se poursuit pendant environ 3 mois, en même temps que le poids du cobaye remonte et dépasse celui du début du traitement.

   Au bout de trois mois on a observé les réponses aux clics filtrés : celles-ci sont très nettement recrutantes pour le 8000 et le 4000

(seuil élevé, latence courte au seuil, augmentation rapide de l'amplitude). Elles sont beaucoup moins modifiées pour le 2000 et le 1000 Hz : l'amplitude est légèrement réduite et la latence est un peu plus longue.(Fig. 106 et 107).

3) On assiste ensuite à une détérioration progressive mais très lente des réponses, le seuil s'élevant jusque vers 70 dB, l'amplitude devenant de plus en plus faible et les latences étant toujours très longues. Au bout de plus de 7 mois l'observation de réponses aussi faibles n'est possible que grâce à l'utilisation du moyenneur.

Les enregistrements utilisant les différents clics filtrés la veille du sacrifice révèlent une absence quasi totale de réponses au 8000 Hz (Cobaye n° 39) ou des réponses extrêmement faibles à 120 et 130 dB mais de latence alors courte identique à la latence normale à ce niveau. Au 4000 Hz par contre on observe des réponses nettes de type recrutant, enfin les réponses aux clics filtrés 2000 et 1000 Hz sont encore très nettes et peu différentes de ce qu'elles étaient 3 mois après le traitement.

Les enregistrements effectués sur les oreilles droites, le jour du sacrifice, sont identiques mais les réponses sont généralement meilleures. Elles n'ont pu être effectuées pour l'oreille droite du Cobaye n° 36 qui présentait une otite. Ce cobaye présente d'ailleurs des variations, pour l'oreille gauche, que l'on ne retrouve pas chez les deux autres cobayes, elles sont dues semble-t-il à une otite chronique externe qui était présente lors du sacrifice, l'oreille moyenne n'étant elle pas touchée par l'otite.

Bilans anatomiques

Les cochléogrammes au contraste de phase effectués par le Docteur DARROUZET montrent des organes de Corti très semblables pour les 6 cochlées : le premier tour est pratiquement totalement détruit : à la fois au niveau des cellules ciliées externes et des

internes. Les deuxièmes tours sont déjà beaucoup moins touchés, puisque ce sont surtout les cellules ciliées externes de la première puis de la deuxième rangée qui sont détruites. Les troisièmes et quatrièmes tours présentent des lésions encore plus légères, toujours au niveau des seules cellules ciliées externes.

Discussion

Les formes des réponses et des courbes et leur évolution

Dès les premiers jours après la fin du traitement les réponses sont très nettement du type "dissocié" et elles le resteront jusqu'à la fin de l'expérimentation, seul le degré de dissociation évoluant.

1) Les réponses observées à la fin sont en parfait accord avec les bilans histologiques puisque, le premier tour étant intégralement détruit, on n'observe pratiquement pas de réponse au clic filtré aigu, alors que, les derniers tours étant beaucoup moins affectés, on observe des réponses encore très nettes aux clics filtrés basse fréquence. Il apparait ainsi que les réponses au clic non filtré obtenues sur de telles cochlées ne peuvent provenir que des structures restantes, et cela nous permet de démontrer que les réponses électrocochléographiques : potentiel d'action global du nerf auditif provoqué par un clic, malgré la position de l'électrode (premier tour ou base de la cochlée) et le caractère de la stimulation, sont bien élaborées par l'ensemble de la cochlée et non pas seulement par la base (DAVIS, 1972).

2) L'étude des réponses trois mois après la fin du traitement par rapport aux réponses au début et à la fin de l'expérimentation est également très instructive. En effet à ce moment-là on a des réponses nettement dissociées de part et d'autre de 80 dB avec des latences longues en-dessous alors qu'elles sont normales au-delà. Or, pour le clic filtré 8000 on n'observe que des latences normales au-dessus du seuil qui est lui élevé (80-90 dB) et les réponses sont de ce fait recrutantes.

Or les nombreux travaux histologiques ont montré qu'en général seules les cellules ciliées externes du premier tour étaient atteintes lors de tels traitements et lorsque le sacrifice intervenait dans un délai comparable* (HAWKINS, 1959 ; HAWKINS et al., 1967, DARROUZET, 1967 ; KOHONEN, 1965).

En particulier GONZALEZ (et al., 1972) observant au microscope à contraste de phase les cochlées de cobayes traités à la Kanamycine, les uns immédiatement après le traitement, d'autres 70 et 140 jours après, ont bien montré l'évolution des lésions. Celles-ci concernent seulement quelques cellules externes au début. 70 jours après les cellules externes sont détruites en très grande partie au premier tour alors que les cellules internes sont préservées. 140 jours après les cellules des deux types, externes et internes, sont intégralement détruites sur tout le premier tour.

Le fait que les réponses au 8000 soient recrutantes à ce moment-là*démontre que ces réponses recrutantes proviennent des cellules ciliées internes (lorsque celles-ci sont également détruites, comme à la fin de l'expérimentation, on n'observe plus aucune réponse).

3) Les réponses dissociées au clic sont donc constituées, trois mois après la fin du traitement, des réponses des structures externes des derniers tours de la cochlée en-dessous de 80 dB (latences longues) et des réponses des structures internes de toute la cochlée, y compris la base, aux fortes intensités (latences normales). A la fin de l'expérimentation elles ne sont plus constituées que des réponses des structures externes préservées (préférentiellement vers l'apex) aux faibles intensités, et des réponses des structures internes, à l'exclusion de celles de la base détruites, aux fortes intensités. L'absence des réponses des structures internes de la base, manifeste lors des stimulations à 8000 Hz, étant révélée sur les réponses au clic non filtré par l'absence de réponses présentant une latence normale courte aux fortes intensités.

---

* C'est-à-dire environ 3 mois après le traitement.

En conclusion, si on peut dire que ce que l'on appelle habituellement N1 est l'image de l'activité de la base de la cochlée, cela n'est pas vrai pour la réponse globale telle que nous l'enregistrons, avec le moyenneur et en inversant la phase de la stimulation sonore et qui, comme on pouvait s'y attendre au vu du spectre du clic, provient de l'ensemble des structures de la cochlée.

Les mécanismes de l'ototoxicité des antibiotiques :

Ces observations continues et à long terme sur l'évolution des réponses, et donc des lésions, chez trois cobayes traités par un antibiotique ototoxique ne vont certes pas nous permettre d'élucider davantage les mécanismes effectifs de cette ototoxicité, dont l'étude fait l'objet de nombreux travaux. Elles ne nous permettent pour l'instant que de parfaire le bilan de cette toxicité et de montrer le caractère inéluctable, à plus ou moins long terme, de l'installation des lésions. Si l'évolution dramatique à court terme peut s'admettre, quand on sait que les doses utilisées dans cette expérimentation sont 20 fois supérieures aux doses thérapeutiques utilisées chez l'homme, ainsi que l'amorce de récupération une fois que l'agent toxique a été éliminé, il est plus difficile de comprendre la détérioration progressive des réponses pendant plus de 7 mois. Celle-ci se reproduit très fidèlement chez les trois cobayes et nous n'avons jamais observé d'évolution comparable chez des cobayes normaux. Cette évolution lente mais inexorable évoque immédiatement un processus de vieillissement qui serait ici accéléré (Presbyacousie). Une évolution comparable a été observée chez l'homme où la surdité apparait parfois avec un long délai après le traitement par antibiotique.

Un dernier point qui mérite d'être souligné, c'est la différence entre les réponses des deux oreilles, celles-ci étant meilleures à droite qu'à gauche. Cela se comprend d'emblée car les oreilles gauches,équipées de l'électrode, ont été testées très souvent (tous les jours pendant 15 jours, puis toutes les semaines) jusqu'à 130 dB chaque fois, alors que les oreilles droites n'ont

jamais, sauf à la fin, été stimulées. Or la sensibilité plus grande au traumatisme sonore a été démontrée chez les animaux soumis aux antibiotiques ototoxiques (DAYAL et al., 1971 ; DARROUZET et de LIMA, 1962).

3 — DISCUSSION

31 — COMPARAISON DES REPONSES NORMALES CHEZ LE COBAYE, LE SINGE ET L'HOMME

Bien que les caractères généraux des réponses normales soient très semblables du cobaye au singe et à l'homme, les figures suivantes (Fig. 109 et 110) ainsi que le tableau ci-dessous font apparaitre des différences en ce qui concerne les valeurs absolues de l'amplitude, de la latence et de la largeur des réponses et d'une manière plus générale au niveau de la forme des réponses.

	COBAYE	SINGE	HOMME (enfant)
Amplitude maximale	1062 µV (F.R.)	46,6 µV (Promontoire)	12,1 µV
Latence au seuil	2,07 ms	2,5 ms	4,5 ms
Latence au maximum	0,74 ms	0,89 ms	1,5 ms
Largeur de N1 à mi-hauteur (110 dB p.e. SPL)	0,31 ms	0,53 ms	0,73 ms
Plateau	++	-	-
N2	+++	++	±
N3	+	+	-

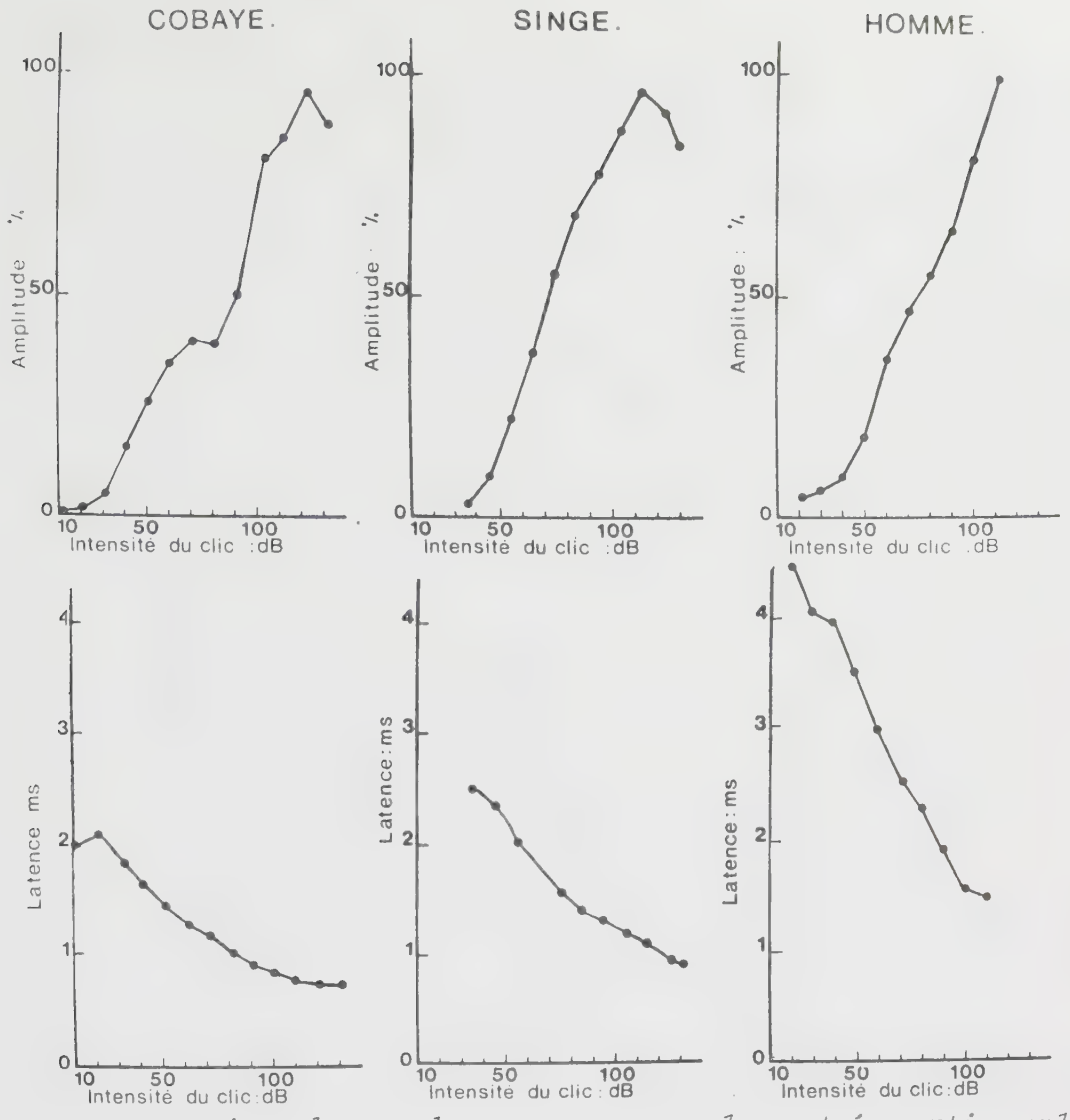


FIG. 109 - Comparaison des courbes moyennes normales entrée-sortie amplitude (en haut) et latence (en bas) chez le cobaye, le singe et l'homme (dB pe SPL).

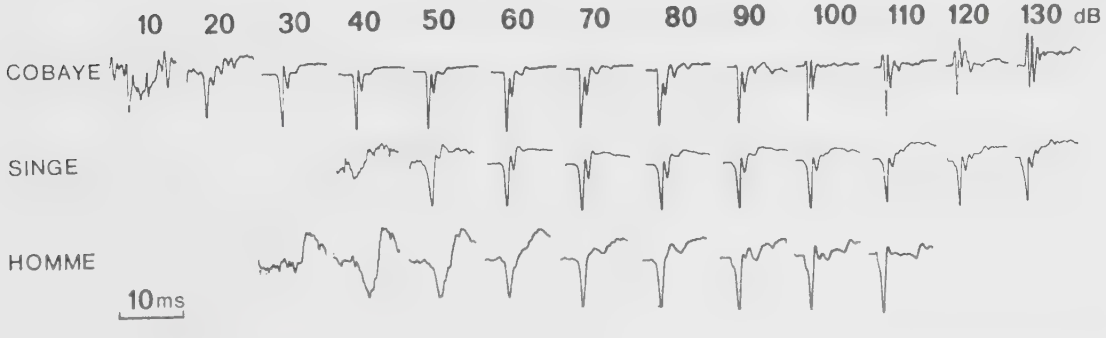


FIG. 110 - Comparaison des réponses normales au clic chez le cobaye, le singe et l'homme (dB pe SPL).

311 — L'amplitude maximale

Une différence importante apparait entre la valeur de l'amplitude maximale chez l'homme ou le singe d'une part et chez le cobaye d'autre part.

Cette différence peut être attribuée en premier lieu à la position de l'électrode qui, chez le cobaye (membrane de la fenêtre ronde) est électriquement plus près de la source des potentiels que chez l'homme ou le singe (promontoire).

Cependant il ne semble pas que cela soit la seule cause de cette différence, car les enregistrements effectués, tant chez l'homme que chez le singe au niveau de la fenêtre ronde, sur la réponse sensorielle (le microphonique cochléaire), et non sur la réponse nerveuse, ont montré une différence comparable.

Ainsi chez le chat ou le cobaye, de même que chez la plupart des mammifères, on enregistre couramment au niveau de la fenêtre ronde des réponses microphoniques d'amplitude atteignant ou dépassant 1000 µV. Chez le singe par contre, de même espèce que celui que nous avons utilisé (Macaca Mulata), les amplitudes maximales observées, toujours au niveau de la fenêtre ronde, ont atteint 60 µV (LEMPERT et al., 1949), 110 et 400 µV (WEVER et al., 1956 ; 1958). De même chez l'homme le microphonique observé au niveau de la fenêtre ronde n'a jamais dépassé 80 µV (RONIS, 1966 ; RUBEN, 1967). Il s'agissait bien entendu d'enregistrements peropératoires, sur des sujets partiellement sourds. Enfin YOSHIE (1971) a enregistré chez des sujets normaux, au niveau du promontoire, des réponses microphoniques ne dépassant pas 40 µV.

Il semble donc que l'atténuation est la même pour le microphonique cochléaire et le potentiel d'action entre le singe ou l'homme et le cobaye ou le chat. Comme il ne s'agit pas d'une différence notable dans les populations de cellules ciliées ou de neurones (voir Tableau suivant), les causes de cette différence sont certainement purement électriques.

Ainsi que l'a suggéré WEVER, la différence entre le primate et les autres mammifères réside dans la nature de l'os contenant la cochlée : celle-ci est contenue dans une mince coquille osseuse qui émerge dans la large cavité remplie d'air de la bulle chez la plupart des mammifères, et les structures sensorielles et nerveuses sont de ce fait bien isolées par rapport à la masse crânienne. Chez les primates la cochlée est incluse dans une large masse osseuse contenant de nombreuses cavités remplies de liquide, court-circuitant de ce fait les phénomènes électriques produits par l'organe de Corti et le nerf auditif (WEVER et al., 1958).

312 – Latences, largeur de N1

Les durées, que ce soit les latences au seuil et au maximum, ou la largeur à mi-hauteur du pic N1, varient approximativement dans le rapport de 1 à 2 du cobaye à l'homme, le singe se situant nettement entre les deux.

Vraisemblablement il ne s'agit pas de différences dans l'organisation ou dans les mécanismes de l'oreille interne, qui sont très semblables. Comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous, les seules différences qui apparaissent nettement se situent au niveau des longueurs de la membrane basilaire et du nerf auditif.

	COBAYE	SINGE	HOMME
Longueur de la membrane basilaire	18,8 mm[1]	≃ 25 mm[2]	35 mm[3]
Nombre de cellules ciliées exter.	≃ 6540[4*]	*	13400[3]
Nombre de cellules ciliées inter.	≃ 1800[4*]	*	3400[3]
Nombre de fibres du nerf auditif	24000[5]	30084[5]	31000[3]
Diamètre des fibres	1-7 µ[5]	1-8 µ[5]	1-10 µ[3]
Longueur du nerf	3 mm[2]	7 mm[2]	26 mm[2]

1. FERNANDEZ, 1952
2. BOUSSENS, 1973
3. BREDBERG, 1968
4. Calculé à partir de FERNANDEZ (1952) (longueur de la membrane basilaire) et KOHONEN (1965) (nombre cellules par mm).
5. GACEK et RASMUSSEN, 1957

* Ces nombres n'ont pu être trouvés dans la littérature, par contre on peut les comparer avec les valeurs pour d'autres mammifères (CCE : chat : 9900, lapin : 6100 ; CCI : chat , 2600, lapin : 1600) (RETZIUS, 1884, cité par IURATO et al., 1967).

Au niveau des populations de cellules ciliées et de neurones on ne note aucune différence importante, de même les fibres du nerf auditif ont sensiblement le même diamètre. Cela suggère que les processus neurophysiologiques sont identiques. Par contre on retrouve, au niveau des dimensions de la membrane basilaire ce rapport de 1 à 2 que l'on observe dans les durées des réponses entre le cobaye et l'homme. Ces différences impliquent :

- un délai plus long dans la stimulation mécanique des différentes régions de la cochlée par le clic*.
- un délai plus long également au niveau de la propagation des potentiels générateurs le long des fibres amyélinisées à l'intérieur de l'organe de Corti, puisque leur trajet (radial et longitudinal) est nécessairement plus long et bien que leur vitesse de conduction soit la même (diamètres voisins).

On voit en outre que pour le singe, dont les dimensions (cochlée et membrane basilaire) sont plus proches de celles du cobaye que de celles de l'homme, les durées sont également plus comparables à celles du cobaye.

313 — Le plateau

En réponse au clic le plateau dans la courbe amplitude n'est prononcé que chez le cobaye ou chez l'homme adulte "normal" (qui, comme on l'a signalé, est déjà légèrement pathologique par rapport à l'enfant normal (voir Fig. 59, page 143). L'absence de ce plateau en réponse au clic n'enlève rien aux théories sur le fonctionnement (mécanique et neurophysiologique) des structures externes et internes de l'organe de Corti respectivement aux faibles et aux fortes intensités. En effet avec des stimulations plus spécifiques (plus localisées) telles que le clic filtré aigu, on

---

* BEKESY (1960) a montré par exemple que la longueur de la membrane basilaire définissait, pour chaque espèce la fréquence de coupure vers les basses fréquences de la sensibilité mécanique de cette dernière. Chez le cobaye l'analyse mécanique de la vibration par la membrane basilaire ne peut s'effectuer qu'au-delà de 200 Hz environ, alors que chez l'homme elle commence dès 20 Hz.

le retrouve très prononcé (voir Fig. 60, page 165), chez le singe.

Le clic non filtré stimulant les structures tout le long de la membrane basilaire, les réponses unitaires sont beaucoup moins bien synchronisées que pour le clic filtré aigu, et une intensité du clic non filtré aux alentours de 70 dB peut être éventuellement, vis à vis de la stimulation des structures internes, infra-liminaire dans une zone de la membrane basilaire et supra-liminaire dans une autre. Cela introduit une dispersion qui se reflète dans l'absence ou l'atténuation du plateau. Ce plateau dans la courbe amplitude lors de la stimulation par clic non filtré semble donc dépendre de la sensibilité de la cochlée aux différentes fréquences, comme on peut l'observer d'ailleurs dans les cas pathologiques aussi bien chez l'homme que chez l'animal (chez le singe normal cette sensibilité est meilleure de 300 à 1000 Hz qu'au-delà, alors que chez le cobaye et chez l'homme elle est maximale entre 1000 et 2000 Hz. WEVER et al., 1958 ; WEVER et LAWRENCE, 1954).

314 — Les autres pics N2, N3

De même nous ne pensons pas que l'importance relativement très faible de N2 et l'absence de N3 chez l'homme, par rapport au cobaye ou au singe, traduisent une différence essentielle dans le fonctionnement des récepteurs et des nerfs auditifs. Il semble ici que la différence réside dans la longueur du nerf auditif depuis sa sortie du conduit auditif interne jusqu'au tronc cérébral. Or, comme on l'a vu dans l'étude de la diffusion électrique des impulsions des fibres depuis le nerf jusqu'à l'électrode, l'impulsion unitaire est enregistrée étalée au niveau du promontoire, étalement qui correspond au temps de propagation de l'impulsion le long du nerf. Plus le nerf est long, plus ce temps est long et plus l'étalement est prononcé. Cet étalement intervient déjà dans l'élargissement de la réponse globale. Il intervient également, par le flou qu'il introduit, dans le masquage des impulsions qui suivent les premières. Le trajet étant très court chez le cobaye et le singe, les réponses sont nettes et, de même que N1 est étroit, N2 peut

apparaître. Chez l'homme, ce trajet étant plus long, la réponse est élargie et N2 est masqué. Il est certain que si on pouvait enregistrer chez l'homme au moyen d'électrodes bipolaires placées directement sur le nerf, les réponses seraient beaucoup plus nettes.

En résumé, il apparait que ce sont les dimensions de la cochlée et du nerf auditif qui introduisent les différences dans les réponses observées chez le cobaye, le singe et l'homme.

Mais cela en partie parce que ces dimensions accentuent les phénomènes - communs à tous les enregistrements - qui font que les réponses enregistrées dans l'un ou l'autre cas ne sont pas aussi nettes qu'elles pourraient l'être. Ces phénomènes sont liés, comme nous l'avons vu, à :

- l'enregistrement à distance
- l'utilisation du clic non filtré
- et la sommation de réponses légèrement décalées dans le temps du fait de la présentation de stimulations alternativement positives et négatives.

32 – DISCUSSION DES OBSERVATIONS SUR LA PATHOLOGIE EXPÉRIMENTALE EN FONCTION DES OBSERVATIONS CHEZ L'HOMME

Les travaux réalisés sur l'animal dans le but de reproduire les formes pathologiques de réponses les plus simples observées chez l'homme : "recrutantes" et "dissociées" pourraient être davantage développés, mais il nous semble que les résultats obtenus sont suffisamment clairs pour justifier les interprétations proposées. Ils permettent en outre de tirer un certain nombre de conclusions sur la nature des réponses telles qu'elles sont enregistrées chez l'homme dans l'électrocochléographie, et sur les mécanismes de la transposition du signal sonore en signal nerveux.

321 — Formes des réponses

Les différentes agressions cochléaires utilisées : traumatisme sonore et anti-biotique ototoxique, nous ont permis de reproduire, dans la plupart des cas, des réponses au clic très nettement dissociées, puisqu'on retrouve toutes les caractéristiques déjà décrites chez l'homme :

— Latence longue au seuil,

— Augmentation faible de l'amplitude lors de l'augmentation de l'intensité du clic,

— Apparition progressive très nette d'une réponse plus rapide, de latence normale (N1), précédant la réponse tardive observée seule près du seuil, les deux réponses étant très nettement visibles aux niveaux intermédiaires.

— Augmentation plus rapide de l'amplitude vers les fortes intensités.

En même temps on observe des réponses très caractéristiques du type recrutant, avec les clics filtrés aigus et surtout le 8000 Hz :

— Seuil élevé,

— Latence courte (identique à celle mesurée avant l'agression au même niveau d'intensité),

— Forme rapide,

— Augmentation rapide de l'amplitude avec l'augmentation de l'intensité du clic filtré.

On peut en outre remarquer différents niveaux de dissociation des réponses au clic, selon les agressions utilisées, en fonction de certaines caractéristiques telles que :

— Pour les réponses au clic :
  - le seuil de la réponse globale,
  - le seuil de N1,
  - l'amplitude maximale.

- Pour les réponses au clic filtré 8000 Hz :
  - le seuil,
  - l'amplitude maximale.

On peut ainsi classer ces différentes caractéristiques dans le tableau suivant et en déduire les différents degrés de dissociation provoqués par les différents traitements :

	BRUIT BLANC	BRUIT AIGU	KANAMYCINE	
			3 MOIS	7 MOIS
Réponses au clic non filtré :				
SEUIL	< 40 dB	40 dB	50 dB	70 dB
SEUIL N1	70-80 dB	100-120 dB	80-110 dB	↓
AMPLITUDE MAXIMALE	700-1000 µV	450-575 µV	315-600 µV	100-200 µV
Réponses au clic filtré 8000 Hz :				
SEUIL	65-90 dB	90 dB	90-100 dB	120-↓ dB
AMPLITUDE MAXIMALE	540-680 µV	375-500 µV	90-400 µV	0-10 µV
CARACTERE DISSOCIE	+	++	++	+++

Sur ce tableau, ainsi que sur l'ensemble des courbes, on constate que, plus le seuil des réponses au clic filtré 8000 Hz est élevé, plus évidemment le caractère dissocié est prononcé et plus, en particulier, la réponse au clic non filtré est de faible amplitude.

Une telle progression dans les degrés de dissociation, que l'on peut suivre entre autres sur les cobayes traités à la Kanamycine, correspond bien à ce que nous avons observé chez l'homme. En effet, depuis les réponses pratiquement normales des adultes manifestant un début de dissociation en accord avec une évolution normale presbyacousique, jusqu'aux réponses très nettement dissociées lors de chute importante sur les aigus, toute une gamme de réponses de plus en plus dissociées peut être observée .

D'autre part ces agents otodestructeurs, connus pour provoquer chez l'homme des atteintes de la sensibilité auditive principalement sur les aigus et qui, comme nous l'avons montré en particulier pour le traumatisme sonore, induisent chez l'homme cette dissociation des réponses, provoquent chez l'animal les mêmes modifications. On peut donc penser que les situations anatomo-pathologiques correspondantes sont, chez l'homme et l'animal, comparables.

Nous reviendrons sur la nature des lésions produites par ces traitements plus loin, mais nous pouvons remarquer d'emblée, même si les lésions ne sont pas toujours très explicites, que très schématiquement, le degré de dissociation des réponses est lié à l'étendue des destructions des cellules ciliées externes, de préférence dans les premiers tours de spire de la cochlée. En effet, les réponses les moins dissociées correspondent à des destructions minimes (bruit blanc) alors que les réponses plus nettement dissociées (bruit aigu et Kanamycine après 3 mois) correspondent à des destructions plus nettes des cellules ciliées externes. Enfin, dans les cas extrêmes (Kanamycine après 7 mois), la dissociation est totale, puisqu'on n'a plus que des réponses tardives en provenance des derniers tours de spire de la cochlée où les cellules externes et internes sont respectivement en partie et intégralement préservées, alors qu'à la base les deux types de cellules sont détruits.

Il a été beaucoup plus difficile de reproduire des réponses au clic non filtré du type recrutant, puisque seulement dans un cas (cobaye n° 48), les réponses obtenues s'en approchent. Par contre comme on l'a vu dans tous les autres cas où les réponses au clic sont dissociées, les réponses au clic filtré 8000 sont toujours très nettement recrutantes. Les expérimentations ne nous permettent donc pas de vérifier directement l'interprétation proposée dans les cas recrutants chez l'homme, où l'on suppose que la totalité des structures externes, tout le long de la membrane basilaire, sont détruites (où à tout le moins silencieuses) alors que les structures internes sont au moins partiellement préservées (en particulier à la base). Cependant elles fournissent un faisceau d'arguments qui sont tous en faveur de cette interprétation.

— Les réponses au clic filtré 8000 Hz vérifient localement l'hypothèse. En effet cette stimulation évoque, comme nous l'avons montré (§ 125, page 185) des réponses spécifiques au niveau de la base de la cochlée. Lorsque, à ce niveau, les cellules ciliées externes sont affectées, alors que les cellules ciliées internes sont préservées, les réponses à cette stimulation sont typiquement recrutantes. De plus, lorsque les cellules ciliées internes sont également détruites, elle n'évoque plus aucune réponse(Kanamycine après 7 mois).

— Selon notre hypothèse il est normal que, n'ayant pu détruire les cellules ciliées externes tout le long de la membrane basilaire, nous n'ayons pu obtenir de réponse recrutante au clic non filtré.

— Il faut remarquer en outre que la plupart des réponses recrutantes que nous avons eu l'occasion d'observer chez l'homme l'ont été semble-t-il surtout dans les cas de surdité d'origine congénitale : héréditaire, embryopathie (rubéole), et rarement dans les cas de surdité acquise où se manifeste la plupart du temps une atteinte des aigus, en dehors des cas de maladie de Ménière. Dans ces cas là, après une très longue évolution, lorsque l'audition est affectée sur toutes les fréquences, on trouve des réponses recrutantes typiques. Paradoxalement cette maladie, dans son stade précoce, se manifeste par une atteinte auditive principalement marquée sur les graves. Il est évident que les deux agents otodestructeurs simples que nous avons utilisés, affectent préférentiellement le premier tour et qu'il est difficile de réaliser des lésions de structures externes des derniers tours sans affecter davantage le premier. Ainsi avec la kanamycine on a détruit l'ensemble des structures externes et internes de la base alors que les derniers tours sont intégralement préservés. Il semble donc qu'il faille envisager des traitements beaucoup plus complexes si l'on veut effectivement atteindre sélectivement l'ensemble des structures externes sans affecter les internes. Cette sensibilité particulière de la base aux agressions a été très étudiée ; si une des premières raisons est

fonctionnelle puisque la base reçoit l'intégralité de l'énergie sonore alors que l'apex n'en reçoit que la fraction véhiculée par les composantes basse fréquence du son, il semble qu'il y ait en outre une susceptibilité particulière aux agressions.

322 — Remarques à propos de la largeur des réponses dissociées

Dans toutes les expérimentations dès que les réponses sont dissociées celles-ci sont moins aiguës, en particulier aux faibles intensités. Lorsque la dissociation est très prononcée (Kanamycine après 7 mois) les réponses au clic sont "larges" même à 130 db (Fig. 102, page 221).

Cette largeur des réponses est la conséquence du fait que seuls les éléments lents en provenance des derniers tours de la cochlée contribuent à l'élaboration de la réponse globale, les composantes basse fréquence du clic non filtré stimulant les seules structures préservées. Les réponses au clic sont donc larges, au même titre que les réponses d'une cochlée normale à des clics filtrés basse fréquence (voir Fig. 70, page 176).

On pourrait donc penser que les réponses que nous avons classées chez l'homme dans la catégorie des réponses larges relèvent du même mécanisme, c'est-à-dire qu'elles rendraient compte uniquement d'une situation anatomo-pathologique comparable à savoir une atteinte sévère du premier tour de la cochlée alors que l'apex serait préservé.

Ce n'est cependant pas le cas et cela apparait sans difficulté quand on remarque une différence importante entre ces réponses larges observées chez l'homme et les réponses dissociées et larges chez l'animal. Cette différence réside dans la latence de la réponse qui, dans tous les cas chez l'homme est courte (normale) aux fortes intensités, alors que chez le cobaye dans les cas très dissociés cette latence est longue, même à 130 dB. Cette différence au niveau de la latence indique que chez l'homme, lorsque celle-ci est courte, même si la réponse est large, le premier tour est stimulé alors que chez le cobaye cette latence longue confirme le fait, vé-

rifié histologiquement, que le premier tour est détruit.

Certes dans la largeur des réponses chez l'homme les composantes basse fréquence du clic peuvent intervenir, comme il apparait dans quelques cas où la réponse au clic non filtré est large alors que la réponse au clic filtré aigu est rapide (voir Cas n° 169 et 185, pages 91 et 92). Nous savons cependant que dans ces cas là il y a atteinte rétro-cochléaire, ce qui ne saurait être le cas des cobayes que nous avons expérimentés, et il est certain que, bien que les composantes basse fréquence du clic puissent intervenir dans l'élargissement de la réponse, ce n'est pas là le seul mécanisme responsable de cette modification de la forme des réponses, mécanisme que nous n'avons pas eu l'intention de considérer dans ce présent travail.

323 — Lésions cochléaires

Si les lésions observées chez le cobaye traité par l'antibiotique ototoxique sont très nettes et très significatives sur le plan de l'analyse des réponses pathologiques correspondantes, dans le cas du traumatisme sonore elles sont beaucoup moins nettes. Mais cela semble dû au fait que nos moyens d'observation sont limités. En effet l'observation au microscope à contraste de phase ne permet que d'inventorier les cellules ciliées détruites, mais ne donne pas d'indications sur l'état des cellules encore présentes. Inversement le microscope électronique permet d'étudier dans le détail l'ultrastructure des cellules préservées, mais ne permet pas d'avoir une idée précise, quantitative, sur l'importance des modifications observées et leur répartition à l'ensemble des cellules de la cochlée.

Dans ce cas là il semble que les observations électrophysiologiques sont plus fines puisqu'elles mettent en évidence des altérations fonctionnelles quand on ne décele rien de significatif au niveau des organes de Corti (voir Cobaye n° 31, page 200, par exemple).

Bien que cela nuise à la rigueur des démonstrations, ces observations sont intéressantes car, si l'agression par l'antibiotique était massive (20 fois la dose thérapeutique utilisée chez l'homme) et les lésions produites en conséquence très nettes, les agressions sonores ont été beaucoup plus modérées et sont restées de ce fait beaucoup plus physiologiques. En effet les niveaux sonores utilisés ne sont pas à proprement parler traumatiques ; ils ne produisent qu'une sur-stimulation des structures réceptrices et induisent donc une fatigue qui, prolongée, peut entraîner des modifications fonctionnelles stables. Il ne s'agit donc pas d'agression mécanique directe sur les cellules ciliées. Or une telle fatigue est beaucoup plus courante chez l'homme que le traumatisme sonore proprement dit, et participe à l'évolution lente presbyacousique au même titre que les autres causes de vieillissement. Il semble que donc, par ces expositions au bruit, nous ayons reproduit assez fidèlement les conditions dans lesquelles des réponses dissociées identiques apparaissent chez l'homme.

Enfin ces observations nous montrent qu'entre des structures réceptrices (sensorielles et nerveuses) normales et entièrement détruites, il existe certainement une large gamme de situations intermédiaires dans lesquelles le fonctionnement est plus ou moins altéré.

324 — Nature de la réponse enregistrée

De l'ensemble des observations humaines et expérimentales nous pouvons tirer un certain nombre de conclusions concernant la nature de la réponse du nerf auditif telle que nous l'enregistrons dans l'électro-cochléographie :

— Ainsi qu'il apparait sur les cobayes traités par l'antibiotique ototoxique (après 7 mois), nous pouvons dire que la réponse au clic non filtré est élaborée par l'ensemble de la cochlée et non pas seulement au niveau du premier tour ainsi que la position de l'électrode (premier tour) et les exigences de la synchronisation des réponses des fibres pourraient le suggérer. Cependant lorsque le

premier tour est affecté, les réponses sont considérablement réduites et modifiées (amplitudes très faibles, latences très longues et formes larges). Cela démontre l'importance du premier tour de la cochlée, importance déjà reconnue dans les propriétés de l'audition.

— La réponse appelée classiquement N1 est, elle, effectivement produite par les cellules nerveuses correspondant au premier tour. Encore faut-il distinguer la première réponse N1 aux faibles intensités, telle qu'on peut la voir dans les réponses normales au clic et au clic filtré aigu chez les cobayes normaux (et qui provient des structures externes), de la réponse N1 aux fortes intensités (provenant des structures internes de la base) que l'on observe seule en réponse au clic filtré aigu, et superposée aux réponses des autres tours en réponse au clic non filtré, chez les cobayes où les structures externes de la base sont atteintes (traumatisme sonore aigu et kanamycine après 3 mois environ). Lorsque l'ensemble des structures externes et internes de la base est détruit, N1 disparait (kanamycine après 7 mois).

— L'origine des autres pics, en particulier de N2, est plus difficile à préciser et il faut distinguer entre les réponses normales et les réponses pathologiques.

Dans les réponses normales N2 apparait soit comme une seconde synchronisation des fibres qui ont déjà répondu et produit N1, soit comme une synchronisation plus tardive d'un ensemble de fibres n'ayant pas été déclenchées auparavant. Il est possible que ces deux origines soient mélangées dans les réponses normales.

Cette deuxième hypothèse parait probable lorsqu'on considère les réponses pathologiques au clic. En effet, on constate l'apparition d'une réponse tardive qui, à l'opposé de N1, est seule présente aux faibles intensités du clic non filtré, alors qu'avec le clic filtré aigu seul N1 apparait à des intensités plus élevées, cela chez les cobayes où les structures externes de la base sont atteintes. Egalement chez l'homme normal, pendant masquage par un bruit blanc, on note qu'un deuxième pic est net et relativement important par rapport à N1, par opposition aux mêmes réponses dans le

silence (Fig. 57, page 142). Cette réponse tardive provient donc vraisemblablement des derniers tours de la cochlée ; comme sa latence est semblable à celle de N2 dans les réponses normales, elle serait effectivement N2. On pourrait donc dire inversement que N2 est la réponse des autres tours, mais nous manquons de preuves certaines pour pouvoir l'affirmer.

— La latence de la réponse au clic est la résultante de plusieurs délais d'origine différente :

- le délai neuro-sensoriel, dépendant de l'intensité de la stimulation et des mécanismes de déclenchement d'une fibre par la cellule ciliée.
- le délai, dans le sens radial, dû à l'activation de deux systèmes différents : les structures sensorielles et nerveuses externes et internes.
- le délai, dans le sens longitudinal, dans l'activation progressive des structures de la membrane basilaire depuis la fenêtre ovale jusqu'à l'apex, correspondant au temps de propagation de l'onde mécanique le long de la membrane basilaire.

L'ensemble de ces éléments explique la complexité de la réponse globale, car ils interviennent tous également dans l'amplitude et d'une manière plus générale dans la forme de la réponse. Cependant de ce fait une altération quelconque à l'un ou l'autre de ces niveaux se traduit par une altération proportionnelle de la forme et de la latence de la réponse globale.

RÉSUMÉ

Ce travail a été entrepris dans le but de préciser le rôle du récepteur périphérique dans l'ensemble de la fonction auditive et l'incidence de ses altérations sur les modifications les plus courantes de la sensation auditive.

Ce travail avait également pour but d'établir une méthode d'Audiométrie Objective précise et sûre dont le besoin, en particulier pour le diagnostic précoce des surdités chez le très jeune enfant, s'est toujours impérativement fait sentir. L'importance de l'audition dans les premières années de la vie pour l'acquisition du langage a été de plus en plus soulignée et des procédures de rééducation très précoce ont été mises au point. Or leur indication et leur efficacité dépendent en premier lieu de la précocité d'un diagnostic sûr et précis de surdité. Dans ce but il nous a semblé d'emblée préférable de nous adresser directement au récepteur plutôt qu'aux diverses réponses réflexes ou évoquées plus haut dans le système nerveux central et dont l'utilisation, chez l'enfant en particulier, a toujours été très difficile. Au contraire le récepteur, mature dès la naissance, devait nous donner des informations très spécifiques concernant le système auditif en général dont le fonctionnement dépend évidemment en premier lieu de celui du récepteur.

Nous avons donc tout d'abord, nous inspirant des tentatives déjà réalisées par d'autres, recherché une méthode d'enregistrement de l'activité électrique du récepteur auditif provoquée par une stimulation sonore. Notre souci constant a été d'arriver à une méthode pratique, simple et fiable de telle sorte qu'elle puisse être utilisée sans difficultés par un personnel non spécialisé et que l'interprétation soit le plus possible sans ambiguïtés.

*

* *

Nous avons ainsi abouti à la méthode Electro-cochléographique (E.Coch.G.) dont les points principaux sont les suivants :

— L'électrode active est une fine aiguille métallique rigide qui, traversant le tympan, est maintenue appliquée contre le promontoire osseux de la cochlée entre la fenêtre ronde et la fenêtre ovale. Cela est réalisé chez l'adulte sous simple anesthésie locale du tympan et chez le jeune enfant et le nourrisson sous anesthésie générale.

— On observe des réponses moyennes dégagées du bruit de fond, en raison de la très faible amplitude des signaux au niveau du promontoire, en réalisant la sommation, dans les mémoires d'un petit moyenneur, des réponses successives à un train de stimulations identiques répétitives.

— Seule la réponse nerveuse (potentiel d'action global du nerf auditif, en réponse à des stimulations sonores très brèves) est considérée. La réponse sensorielle (microphonique cochléaire) dont l'intérêt est moindre et qui obscurcit la réponse nerveuse, est éliminée. Pour cela la phase de la stimulation sonore est inversée une fois sur deux de telle sorte que les réponses microphoniques, qui s'inversent de la même manière, s'annulent lors de la sommation des réponses successives dans la mémoire du moyenneur, alors que les réponses nerveuses, qui sont peu différentes d'une stimulation

à la suivante de phase opposée, et qui gardent en particulier la même polarité négative, s'additionnent.

— On utilise essentiellement la stimulation par "clic" (de spectre de fréquence très étendu) et,éventuellement, par "clics filtrés" (de spectres étroits centrés sur différentes fréquences).

— Non seulement le seuil des réponses au clic est recherché, mais on enregistre systématiquement les réponses depuis le seuil jusqu'à 80 ou 100 dB.

— On mesure sur chaque réponse l'amplitude et la latence (délai entre la stimulation sonore au niveau du tympan et le pic négatif du potentiel d'action).

— Ces valeurs aux différentes intensités sont reportées sur des graphiques et permettent de tracer des courbes entrée-sortie, amplitude et latence, qui caractérisent la dynamique du récepteur.

— D'une manière plus générale la forme de la réponse est caractérisée (monophasique, diphasique, rapide, large, anormale).

— Enfin les seuils et les formes des réponses aux différents clics filtrés, particulièrement le plus aigu, sont éventuellement recherchés.

*
* *

Cette méthode est maintenant utilisée couramment dans le Service d'Audiologie de l'Hôpital.

Nous ne considérons dans ce travail que les résultats des examens réalisés par nous-même et avec le même matériel.

240 sujets (383 oreilles) ont été examinés : 133 sous anesthésie locale (groupe "adultes") (200 oreilles) et 107 sous

anesthésie générale (groupe "enfants") (183 oreilles).

— Dans 94 oreilles aucune réponse n'était observée, même en réponse au clic à 105 dB. Cela confirmait, quand celui-ci était avancé, le diagnostic de surdité totale.

— Dans les 289 autres oreilles des réponses de différents types étaient observées, avec des seuils allant de - 10 à + 105 dB.

En dehors des réponses normales (11 chez l'adulte, 50 chez l'enfant), différents types de réponses correspondant à diverses atteintes de l'audition ont pu être observées. Ce sont :

— Les réponses normales mais décalées sur l'axe des intensités dans les cas de surdité de transmission.

— Les réponses recrutantesde latence courte, dont l'amplitude augmente rapidement avec l'intensité du clic et de forme diphasique, dans les cas de surdité cochléaire avec une perte généralisée sur toutes les fréquences avec recrutement.

— Les réponses dissociées, dont l'amplitude et la latence varient brutalement quelques dizaines de dB au-dessus du seuil, alors qu'avec le clic filtré aigu les réponses sont du type recrutant, et qui correspondent à des surdités cochléaires mais limitées uniquement sur les aigus, avec recrutement sur ces fréquences (surdités professionnelles, presbyacousie).

— Les réponses larges et anormales, rencontrées dans les cas de maladie de Ménière, de troubles vasculo-tensionnels du labyrinthe, de troubles vasculaires ou rétro-cochléaires (neurinomes, ictères nucléaires).

— Enfin les réponses normales observées dans trois cas de surdité profonde ou totale confirmée. Il s'agissait, en dehors d'un cas de surdité vraisemblablement "psychogène", de lésions du système nerveux central (dégénérescence du tronc cérébral, tumeur dans la fosse cérébrale postérieure).

— Une bonne corrélation a pu être établie entre les seuils électro-cochléographiques et les seuils audiométriques de telle sorte qu'on peut dire, chaque fois qu'il y a discordance entre les deux méthodes, qu'il s'agit d'une altération plus haut placée dans le système nerveux de l'audition. Ces discordance étant très rares, cela montre en outre que la plupart des surdités sont d'origine périphérique.

— De même une très bonne correspondance a pu être observée entre les formes des réponses et des courbes entrée-sortie et les modifications pathologiques de l'audition supra-liminaire, en particulier en ce qui concerne le recrutement (réponses recrutantes et dissociées) et les troubles de la compréhension du langage (formes larges et anormales). Cela montre également que la plupart des altérations de la sensation auditive sont dues à des distorsions qui apparaissent au niveau du nerf auditif.

— Enfin l'intérêt de ces observations objectives a pu être souligné en particulier dans les cas complexes chez l'adulte où elles apportent des informations très utiles dans le diagnostic général des troubles de la sphère otologique, et surtout chez le très jeune enfant et le nourrisson où les renseignements obtenus, très spécifiques et propres à chaque oreille, s'avèrent déterminants dans l'élaboration du diagnostic de surdité et dans l'établissement d'une procédure thérapeutique.

*

* *

Après avoir fait le point des connaissances actuelles sur le fonctionnement du récepteur périphérique et du nerf auditif, la genèse de la réponse électro-cochléographique a été étudiée dans le détail.

En fonction de ces données, des données cliniques et des théories déjà avancées dans l'interprétation des différents

troubles de l'audition, des interprétations des réponses normales et des différentes modifications pathologiques ont été proposées ou discutées.

— Le groupe des réponses recrutantes et dissociées parait correspondre à un déficit anatomique, au niveau des cellules ciliées et des fibres nerveuses associées externes, et à un fonctionnement normal des structures préservées. Ces lésions des structures externes seraient généralisées tout le long de la membrane basilaire dans les cas recrutants, et localisées uniquement à la base dans les cas dissociés.

— Par opposition le groupe des réponses larges et anormales semble correspondre, non seulement à un déficit anatomique éventuel, mais surtout à un disfonctionnementdes structures restantes. Ce disfonctionnement est manifesté par les formes distordues des réponses. Il semble que le caractère le plus commun à l'ensemble de ces cas soit un trouble vasculaire, celui-ci étant soit directement en cause, soit induit par d'autres altérations pathologiques de la sphère rétro-cochléaire (neurinomes, ictères nucléaires).

*

* *

Afin de vérifier certains protocoles et certaines interprétations, des enregistrements ont été également réalisés sur l'animal, avec le même matériel, selon la même méthode.

— Chez le singe normal les réponses ont été enregistrées absolument de la même manière que chez l'homme, c'est-à-dire au moyen d'une électrode identique placée sur le promontoire.

— Chez le cobaye normal ou soumis à divers traitements oto-destructifs, les réponses sont observées en permanence grâce à la mise en place d'une électrode à demeure sur la fenêtre ronde.

— La comparaison des réponses normales chez le cobaye, le singe et l'homme, très semblables dans leur allure générale et différentes dans le détail, permet de montrer que les mécanismes de stimulation du nerf sont absolument les mêmes, les différences (surtout au niveau des durées) semblant imputables aux différences dans les dimensions des cochlées et des nerfs auditifs.

— L'étude des réponses aux différents clics filtrés, enregistrées au moyen d'électrodes différentielles dans le premier tour, a permis d'expliciter les mécanismes de l'élaboration de la réponse globale en particulier pour les basses fréquences. L'observation des réponses en présence de différents bruits masquants a permis de démontrer en outre la spécificité des différentes stimulations et des réponses.

— Les traumatismes sonores (bruit blanc, balayage de sons purs dans les aigus, balayage de sons purs depuis les aigus jusqu'aux graves) a permis d'obtenir des réponses très comparables aux réponses dissociées observées chez l'homme. Ces réponses sont très nettement dissociées après traumatisme sonore aigu, et beaucoup moins après le traumatisme sur toute la gamme des fréquences (presque recrutantes). Les réponses au clic filtré aigu sont par contre toujours très nettement recrutantes.

— Les bilans histologiques au microscope à contraste de phase ne sont pas très significatifs car les destructions observées vont de pratiquement inexistantes à nettement marquées au niveau du 2ème tour principalement.

— Les examens au microscope électronique montrent une augmentation très nette du nombre de membranes périphériques des cellules ciliées externes et une augmentation du nombre et de la dimension des neurones afférents oedématié du plexus spiral interne.

— L'évolution des réponses a été observée avant, pendant et durant plus de 7 mois après injections d'un antibiotique

ototoxique : la Kanamycine. Dès la fin du traitement les réponses deviennent dissociées et le seront de plus en plus au cours des 7 mois. L'évolution se fait en deux étapes : une évolution rapide consistant en une diminution importante des réponses suivie d'une lente récupération, puis une évolution à long terme au cours de laquelle les réponses diminuent régulièrement jusqu'à la disparition totale du premier pic N1 dans la réponse, qui n'est plus constituée alors que d'une onde tardive et de faible amplitude. Simultanément les réponses au clic filtré aigu disparaissent progressivement complètement. Les bilans histologiques révèlent une destruction totale des cellules ciliées externes et internes du premier tour. Cela confirme les interprétations proposées pour les réponses dissociées et recrutantes et permet de montrer l'importance du rôle du premier tour dans l'élaboration de la réponse globale, comme d'une manière plus générale pour l'audition, mais démontre également que la réponse au clic est bien élaborée par l'ensemble de la cochlée et non pas uniquement par le premier tour.

L'ensemble des résultats des expérimentations animales confirme l'existence de deux mécanismes très distincts de stimulation des fibres du nerf auditif : aux faibles et aux fortes intensités respectivement, mécanismes qui sont localisés dans les structures (sensorielles et nerveuses) respectivement externes et internes

B I B L I O G R A P H I E

ALBE-FESSARD D., ARFEL G. et GUIOT G. - "Activités électriques caractéristiques de quelques structures cérébrales chez l'homme". Ann. Chir., 1963, 17, 1185-1214.

ALLISON T. "Recovery functions of somatosensory evoked responses in man". Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 1962, 14, 331-343.

ANDREEV A.M., ARAPOVE A.A. et GERSUNI S.V. - "On electrical potentials of the human cochlea". J. Physiol. U.S.S.R., 1939, 26, 205-212.

BANCAUD J., BLOCH V. et PAILLARD J. - "Contribution EEG à l'étude des potentiels évoqués chez l'homme au niveau du vertex". Rev. Neurol., 1953, 89, 399-418.

BEKESY G. von - "D-C resting potentials inside the cochlear partition" J. Acoust. Soc. Amer., 1952, 24, 72-76.

BEKESY, G. von : "Experiments in hearing". Mc Graw-Hill, 1960.

BICKFORD R.G., JACOBSON J.L. et CODY D.T. - "Nature of average evoked potentials to sound and other stimuli in man" Ann. N.Y. Acad. Sci., 1964, 112, 204-223.

BORDLEY J.E., RUBEN R.J. et LIEBERMAN A.T. - "Human cochlear potentials" The Laryngoscope, 1964, 74, 463-479.

BOUSSENS J. - Comm. Person. 1973

BREDBERG G. - "Cellular pattern and nerve supply of the human organ of Corti". Acta Otolaryng. (Stockh.), 1968, Suppl. 236

BRINKMAN W.F.B. et TOLK J. - "Aural microphonics in man" Pract. oto-rhino-laryng., 1961, 23, 325

CASEY K.L. et BLICK M. - "Observations on anodal polarization of cutaneous nerve"
Brain Res., 1969, 13, 155-167.

CELESIA G.G., BROUGHTON R.J., RASMUSSEN T. et BRANCH C. - "Auditory evoked responses from the exposed human cortex"
Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 1968, 24, 458-466.

CELESIA G.G. et PULETTI F. - "Auditory cortical areas of man"
Neurology (Minn.), 1969, 19, 211-220.

CHATRIAN G.E., PETERSEN M.C. et LAZARTE J.A. - "Responses to clicks from the human brain. Some depth electrographic observations".
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1960, 12, 479-489.

COATS A.C. - "Temperature effects on the priepheral auditory apparatus"
Science, 1965, 150, 1481-1483

COATS A.C. et DICKEY J.R. - "Nonsurgical recording of human auditory nerve action potentials and cochlear microphonics".
Ann. Otol., 1970, 79, 844-852.

CODY D.T.R. et KLASS D.W. - "Cortical audiometry. Potential pitfalls in testing"
Archv. Otolaryng., 1968, 88, 396-406.

DAIGNEAULT E.A., BROWN R.D. et BLANTON F.F. - "Alteration of round window recorded N1 by selective sections of the cochlear and vestibular nerves"
Acta oto-laryng., (Stockh.), 1970, 70, 254-259

DARROUZET J. - "Essais de protection de l'organe de Corti contre l'ototoxicité des antibiotiques".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1963, 84, 459-478

DARROUZET J. - "Ototoxicité de la Dihydrostreptomycine et de la Kanamycine. Etude expérimentale comparative".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1964, 85, 555-569

DARROUZET J. - "Essais de protection de l'organe de Corti contre l'ototoxicité des antibiotiques. Etude histologique, deuxième série expérimentale".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1967, 88, 188-203.

DARROUZET J. - Comm. person. 1973.

DARROUZET J. et DE LIMA E. - "Oreille interne, kanamycine et traumatisme acoustique"
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1962, 83, 781-806.

DARROUZET J., NIAUSSAT M.M. et LEGOUIX J.-P. - "Etude histologique de l'organe de Corti de souris d'une lignée présentant des crises convulsives au son".
C.R. Acad. Sci. (Paris), 1968, 266, 1165.

DAVIS H. - "Innitiation of nerve impulses in cochlea and other mechano-receptors"
Physiological Triggers, 1956, 60-71.

DAVIS H. - "Biophysics and physiology of the inner ear"
Physiological Review, 1957, 37, 1-49

DAVIS H. - "A functional classification of auditory defects"
Ann. Otol. (St Louis), 1962, 71, 693-704.

DAVIS H. - "The young deaf child : identification and management"
Acta Otolaryngol. (Stockh.), Suppl. 206.

DAVIS H. - "Substractive hearing loss, loudness recruitment and decruitment".
Ann. Otol, 1966, 75, 87-94.

DAVIS H. - "Averaged evoked response EEG audiometry in North America"
Acta oto-laryng. (Stockh.), 1968, 65, 79-85

DAVIS, H. : "Mechanisms of the inner ear".
Ann. Otol., 77, 1968, 644-655.

DAVIS H. - Comm. Person., 1970.

DAVIS H. - "Classes of Auditory evoked responses"
Audiology, 1972, 11, Suppl. , 96 (Abstract)

DAVIS H. - "Electric response audiometry, with special reference to the vertex potentials"
in Handbook of sensory physiology (in preparation), 1972.

DAVIS H., DEATHERAGE B.H., ELDREDGE D.H. et SMITH C.A. - "Summating potentials of the cochlea"
Amer. J. of Physiol., 1958, 195, n° 2.

DAVIS H., DEATHERAGE B.H., ROSENBLUT B., FERNANDEZ C., KIMURA R. et SMITH C.A. - "Modification of cochlear potentials produced by streptomycin poisoning and by extensive venous obstruction"
Laryngoscope, 1958, 68, 596-627.

DAVIS H., GERNANDT B.E., RIESCO-MacCLURE J.S. - "Threshold of action potentials in ear of guinea pig".
J. Neurophysiol., 1950, 13, 73-87.

DAVIS H. et ZERLIN S. - "Acoustic relations of the human vertex potential"
J. Acoust. Soc. Amer., 1966, 39, 109-116.

DAVIS H., ZERLIN S., BOWERS C. et SPOOR A. - "Some interactions of the vertex potentials"
Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 1968, 24, 285.

DAVIS P.A. - "Effects of acoustic stimuli on the waking human brain"
J. Neurophysiol., 1939, 2, 494-499.

DAYAL V.S. - "The effects of olivocochlear bundle stimulation on latency of action potential"
The Laryngoscope, 1968, 78, 1590-1596

DAYAL V.S., KOKSHANIAN A. et MITCHELL D.P. - "Combined effects of noise and kanamycine"
Ann. otol. (St Louis), 1971, 80, 897-902.

DESMEDT J.E. - "Auditory-evoked potentials from cochlea to cortex as influenced by activation of the efferent olivo-cochlear bundle"
J. Acoust. Soc. Amer., 1962, 34, 1478-1496.

DIX M.R. - "Observations upon the nerve fibre deafness of multiple sclerosis, with particular reference to the phenomenon of loundness recruitment".
J. Laryng., 1965, 79, 695-706

EGGERMONT J.J. et ODENTHAL D.W. - "Electrophysiological investigation of the human cochle : recruitment, masking and adaptation.
(in press in Audiology), 1973.

ENGSTRÖM H., ADES H.W. et BREDBERG G. - "Normal structure of the organ of Corti and the effect of noise-induced cochlear damage".
in Sensorineural hearing loss (CIBA Foundation Symposium)
G.E.W. WOLSTENHOLME et J. KNIGHT édit., J & A CHURCHILL (Londres)
1970, 127-152.

ENGSTRÖM H., ADES H.W. et HAWKINS J.E. jr - "Structure and function of the sensory hairs of the inner ear".
J. Acoust. Soc. Amer., 1962, 34, 1356-1363.

FARKASHIDY J., BLACK R.G. et BRIANT T.D.R. - "The effect of KANAMYCIN on the internal ear : an electrophysiological and electron microscopic study".
Laryngoscope, 1963, 73, 713-727.

FELDMAN R.M. et GOLDSTEIN R. - "Averaged evoked responses to synthetic syntax sentences (3S).
J. Speech and Hearing Research, 1967, 10, 689-696.

FERNANDEZ C. - "Dimensions of the cochlea (Guinea pig)".
J. Acoust. soc. Amer., 1952, 24, 519-523

FERNANDEZ C., SINGH H. et PERLMAN H. - "Effect of short-term hypothermia on cochlear responses".
Acta Otolaryngol. (Stockh.), 1958, 49, 189-205.

FEX J. - "Augmentation of cochlear microphonic by stimulation of efferent fibres to the cochlea".
Acta oto-laryng. (Stockh.), 1959, 50, 540-541.

FEX J. -"Auditory activity in centrifugal and centripetal cochlear fibres in cat"
Acta-Physiologica Scandinavica, 1962, 55, Suppl. 189, 1-64

FEX J. - "Efferent inhibition related to hair-cell DC activity a study of post synaptic activity of the crossed olivocochlear fibres in the cat".
J. Acoust. Soc. Amer., 1967, 41, 666-674

FINK A., RONIS M.L. et ROSENBERG P.E. - "Some relationships between audiometry and cochlear microphonics in man".
J. Speech and Hearing Research, 1969, 12, 156-160

FLACH M. et SEIDEL P. - "Mikrophonpotentiale (MP) des menschlichen Ohres".
Archc. Klin. Exp. Ohr Nas Kehlkopfheilk, 1968, 190, 229-243.

FLETCHER H. et MUNSON W.A. - "Loudness, its definition, measurement and calculation".
J. Acoust. Soc. Amer., 1933, 5, 82-108.

FOWLER, E.P. : "Loundness Recruitment".
Archv. Oto-Laryngol., 1963, 78, 748-753.

FROMM B., NYLEN R.D. et ZOTTERMAN Y. - "Studies in the mechanism of the Wever and Bray effect".
Acta oto-laryng. (Stockh.), 1935, 22, 477-486.

GACEK R. et RASMUSSEN G.L. -"Fiber analysis of the acoustic nerve of cat, monkey and guinea pig".
Anat. Rec., 1957, 127, 417.

GALAMBOS R. - "Suppression of auditory nerve activity by stimulation of efferent fibers to cochlea".
J. Neurophysiol., 1956, 19, 424-437.

GASSER H.S. et ERLANGER J. - "The role played by the sizes of the constituent fibers of a nerve trunk in determining the form of its action potential wave".
Am. J. Physiol., 1927, 80, 522-547

GASSER H.S. et GRUNDFEST H. - "Axon diameters in relation to spike dimensions and the conduction velocity in mammalian A fibers"
Am. J. Physiol., 1939, 127, 393-414.

GASTAUT H., REGIS H., LYAGOUBI S., MANO T. et SIMON L. - "Comparison of the potentials recorded from the occipital, temporal and central regions of the human scalp, evoked by visual, auditory and somato-sensory stimuli".
in W. COBB and C. MOROCUTTI "The evoked potentials", Elsevier Amsterdam, 1967, 19-28.

GAVILAN C. et SANJUAN J. - "Microphonic potential picked up from the human tympanic membrane"
Ann. Otol., 1964, 73, 101-109.

GOLDSTEIN R., McRANDLE C.C. et RODMAN L.B. - "Site of lesion in cases of hearing loss associated with Rh incompatibility : an argument for peripheral impairment".
J. Speech and Hearing Disorders, 1972, 37, 447-450.

GOLDSTEIN R. et RODMAN L.B. - "Early components of averaged evoked responses to rapidily repeated auditory stimuli".
J. Speech and Hearing Research, 1967, 10, 697-705.

GONZALEZ G., MILLER N. et WASILEWSKI V. - "Progressive neuro-ototoxicity of Kanamycin"
Ann. Otol. (St Louis), 1972, 81, 127-131.

HAWKINS J.E. Jr - "The ototoxicity of Kanamycin".
Annals of O.R.L., 1959, 68, 698-715.

HAWKINS J.E. Jr, BEGER V. et ARAN J-M. - "Cytoarchitectural changes in Corti's organ after Kanamycin treatment and acoustic trauma"
J. Acoust. Soc. Amer., 1964, 36, (Abstract).

HAWKINS J.E. Jr, BEGER V. et ARAN J.-M. - "Antibiotic insults to Corti's organ"
in B. GRAHAM, Sensori-neural hearing processes and disorders, Little, Brown & Co., (Boston, Mass.), 1967, 411-425.

HAWKINS J.E. Jr, JOHNSSON L.G. et ARAN J.-M. - "Comparative tests of Gentamicin ototoxicity"
J. Infectious Diseases, 1969, 119, 417-426.

HEMENWAY W.G., SANDO I. et McCHESNEY D. - "Temporal bone pathology following maternal rubella".
Arch. Klin. exp. Ohr.-,Nas.-u.Kehlk.Heilk., 1969, 193, 287-300

HONRUBIA V. et WARD P.H. - "Cochlear potentials inside the cochlear duct at the level of the round window".
The Annals of O.R.L., 1969, 78, 1189-1200.

HOOD J.D. - "Basic audiological requirements in neuro-otology"
J. of Laryng.-otol., 1969, 83, 695-711.

IMAI J. - "Experimental study on the interpretation for the meaning of summating potential".
J. Oto.-Laryng. (Japan), 1968, 71, Abstract, 2, 50.

IURATO S. - "Discussion de "primary structural changes in the organ of Corti ..."
(SPOENDLIN, 1971), Act Otolaryngol. (Stockh.), 1971, 71, 175.

IURATO S. et al. - "Submicroscopic Structure of the inner ear".
Pergamon Press, 1967, 367 p.

JERGER, J. : "Hearing tests in otologic diagnosis".
Asha, 1962, 4, 139.

JOHNSSON L.-G. et HAWKINS J.E. Jr - "A direct approach to cochlear anatomy and pathology in man".
Archiv. Otolaryngol., 1967, 85, 599-613.

KEIDEL W.D. - "DC Potentials in the auditory evoked response in man"
Acta oto-laryng. (Stockh.), 1971a, 71, 242-248.

KEIDEL W.D. - "The use of quick correlators in electrocochleography both in oto-audiography (OAG) and in neuro-audiography (NAG)"
Rev. laryng. (Bordeaux), 1971b, Suppl., 709-720

KEIDEL W.D. - "The DC-Potential in the human cortical evoked response, a new contribution to the objective audiometry"
J.F.O.R.L., 1972, 21, 153-158.

KIANG N.Y.-S. - "Discharge patterns of single fibers in the cat's auditory nerve".
M.I.T. Research monograph, 1965, 35, 1-154. The M.I.T. Press Cambridge, Mass.

KIANG N.Y.-S. et MOXON E.C. - "Physiological considerations in artificial stimulation of the inner ear".
Annals O.R.L., 1972, 81, 714-730.

KOHONEN A. - "Effect of some ototoxic drugs upon the pattern and innervation of cochlear sensory cells in the guinea pig."
Acta-Otolaryng. (Stockh.), 1965, Suppl. 208, 1-70

KREJCI F. - "Untersuchungen zur frage der bioelektrischen Funktionsprüfung der Schnecke".
Mschr. Ohrenheilk, 1949, 83, 224-225.

KREJCI F. et BORNSCHEIN H. - "Untersuchungen über di Topische Abhängigkeit des Electrocochleogramms".
Mschr. Ohrenheilk., 1950, 84, 1-7.

KUPPERMAN R. - "A comparison between human and animal cochlear potentials".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1971, Suppl., 739-751

KUPPERMAN R. - "Cochlear adaptat central influences".
Acta oto-laryng. (Stockh.), 1972, 73, 130-140.

LAGOURGUE P. - "Etude du recrutement, sa mesure par l'épreuve d'ARAN (E.Coch.G.). Premiers résultats".
Mémoire d'Orthophonie, Université de Bordeaux II, 1970, 1-47.

LEGOUIX J.-P. - "Potentiels d'action du nerf auditif provoqués par des transitoires appliqués mécaniquement aux osselets".
C.R. Soc. Biol., 1964, 158, 470-473.

LEMPERT J., MELTZER P.E., WEVER E.G. et LAWRENCE M. - "The cochleogram and its clinical application : concluding observations.
Archv. Otolaryngol., (Chicago), 1950, 51, 307-311.

LEMPERT J., WEVER E.G. et LAWRENCE M. - "The cochleogram and its clinical application : a preliminary report".
Archv. Otolaryng. (Chicago), 1947, 45, 61-67.

LEMPERT J., WEVER E.G., LAWRENCE M. et MELTZER P.E. - "Perilymph : its relation to the improvment of hearing which follows fenestration of the vestibular labyrinth in clinical otosclerosis".
Arch. Otolaryng., 1949, 50, 377-387.

LENOIR J. - "Anesthésie par la Kétamine adaptée à l'Electro-Cochléographie" in press in Cahiers d'Anesthésiologie, 1973.

LIDEN G. - "Loss of hearing following treatment with dihydrostreptomycin or streptomycin"
Acta Otolaryng. (Stockh.), 1954, 43, 551-572.

LÜSCHER, E. : "The difference limen of intensity variations of pure tones and its diagnostic significance".
J. Laryng. Otol., 1950, 65, 486-510.

LÜSCHER, E. et ZWISLOCKI, J. : "Comparison of the various methods employed in the determination of the recruitment phenomenon.
J. Laryng. Otol., 1951, 66, 187-195.

MILLER J.D. - "Audibility curve of the chinchilla".
J. Acoust. Soc. Amer., 1970, 48, 513.

MILLER J.D., ROTHENBERG S.J. et ELDREDGE D.H. - "Preliminary observations on the effects of exposure to noise for seven days on the hearing and inner ear of the chinchilla"
J. Acoust. Soc. Amer., 1971, 50, 1199-1203.

MOORE E.J. - "Human cochlear microphonics and auditory nerve action potentials from surface electrodes".
PhD Dissertation University of Wisconsin, 1971, 1-177

NIAUSSAT M.-M. et LEGOUIX J.-P. - "Anomalies des réponses microphoniques cochléaires dans une lignée de souris présentant des crises convulsives au son"
C.R. Acad. Sci. Paris, 1967, 264, 103 - 105

OLIVIER J.-Cl. - "Les mesures d'impédance en audiométrie".
Les Cahiers de la C.F.A. (Paris), 1971, 11, 1-71.

OLSON W.H. et BEMENT S.L. - "Compound action potentials : computer analysis of parameters that determine the waveform."
23rd ACEMB, Nov. 15-19, 1970, Washington D.C. (Abstract).

OUCHI J. et OTHANI I. - "Studies on the ototoxicity of Kanamycin. The correlation between electrophysiological findings and histopathological changes".
Pract. oto-rhino-laryng., 1969, 31, 218-233

PEAKE W.T. et KIANG N.Y.-S. - "Cochlear responses to condensation and rarefaction clicks"
Biophysical Journal, 1962, 2, 23

PERLMAN H.B. et CASE T.J. - "Electrical phenomena of the cochlea in man".
Archv. Otolaryngol., (Chicago), 1941, 34, 710-718

PICTON T.W., HILLYARD S.A., GALAMBOS R. et SCHIFF M. - "Human auditor attention : a central or peripheral process ?"
Science, 1971, 173, 351-353.

PORTMANN M. - "Les fibres nerveuses efférentes cochléaires"
Thèse, Delmas (Bordeaux), 1952.

PORTMANN M. - "A propos du recrutement, sa mesure, son origine, sa valeur"
Rev. Laryngol. (Bordeaux)., 1964, 85, 477-493.

PORTMANN M., ARAN J.-M. et LE BERT G. - "Mise en place définitive d'une électrode sur la fenêtre ronde du cobaye".
C.R. Soc. Biol., 1966, 160, 551-556.

PORTMANN M., ARAN J.-M. et LE BERT G. - "Electro-cochléogramme humain en dehors de toute intervention chirurgicale"
Acta Otolaryng. (Stockh.), 1968, 65, 105-114.

PORTMANN M., LE BERT G. et ARAN J.-M. - "Potentiels cochléaires obtenus chez l'homme en dehors de toute intervention chirurgicale, note préliminaire"
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1967, 88, 157-164.

RASMUSSEN G.L. - "Further observations of the efferent cochlear bundle".
J. Comp. Neur., 1953, 99, 61-74.

REIJNEN C.J.H. et KUIJPERS W. - "The healing pattern of the drum membrane"
Acta oto-laryng. (Stockh.), 1971, Suppl. 287, 1-74.

RONIS B.J. - "Cochlear potentials in otosclerosis"
Laryngoscope, 1966, 76, 212-231.

ROSE J.E., BRUGGE J.F., ANDERSON D.J. et HIND J.E. - "Phase-locked responses to low-frequency tones in single auditory nerve fibers of the squirrel monkey".
J. Neurophysiol., 30, 769-793. (1967)

ROSE, J.E. ; BRUGGE, J.F. ; ANDERSON, D.J. et HIND, J.E. : "Some possible neural correlates of combination tones".
J. Neurophysiol., 1969, 32, 402-423.

ROSE J.E., HIND J.E., ANDERSON D.J. et BRUGGE J.F. - "Somme effects of stimulus intensity on response of auditory nerve fibers in the squirrel monkey"
J. Neurophysiol., 1971, 34, 685-699.

RUBEN R.J. - "Sobre el diagnostico anatomico de las sorderas no conductivas por pruebas fisiologicas"
Ann. Soc. Mex. O.R.L., 1963, 6, 53-60.

RUBEN R.J. - "Cochlear potentials as a diagnostic test in deafness". in A.B. GRAHAM (Ed.) : Sensori-neural Hearing Processes and Disorders. Boston, Little-Brown, 1967, 313-337.

RUBEN R.J., BORDLEY J.E. et LIEBERMAN A.T. - "Cochlear potentials in man".
Laryngoscope, 1961, 71, 1141-1164.

RUBEN R.J., KNICKERKOCKER G.G., SEKULA J., NAGER G.T. et BORDLEY J.E. "Cochlear microphonics in man : a preliminary report"
Laryngoscope, 1959, 69, 665-671.

RUBEN R.J., LIEBERMAN A.T. et BORDLEY J.E. - "Somme observations on cochlear potentials and nerve action potentials in children"
Laryngoscope, 1962, 72, 545-554

RUBEN R.J., SEKULA J., BORDLEY J.E., KNICKERBOCKER G.G., NAGER T.G. et FISCH U. - "Human cochlear responses to sound stimuli"
Ann. Otol., 1960, 69, 459-479.

RUBEN R.J. et WALKER A.E. - "The VIIIth nerve action potential in Ménière's disease"
Laryngoscope, 1963, 73, 1456-1461.

SALMIVALLI A. - "Acoustic trauma in regular army personnel, clinical audiologic study".
Thèse, Université de TURKU (Finlande), 1967 in Acta Otolaryng. (Stockh.), Suppl. 222, 1-85.

SALOMON G. et ELBERLING C. - "Cochlear nerve potentials recorded from the ear canal in man".
Acta oto-laryng. (Stockh.), 1971, 71, 319-325.

SOHMER H. et FEINMESSER M. - "Cochlear action potentials recorded from the external ear in man".
Ann. Otol., 1967, 76, 427-435.

SOHMER H. et FEINMESSER M. - "Cochlear and cortical audiometry conveniently recorded in the same subject"
Israel J. Med. Sci., 1970, 6, 219-223.

SOHMER H., FEINMESSER M., BAUBERGER-TELL L., LEV A. et DAVID S. - "Routine use of cochlear audiometry in infants with uncertain diagnosis"
Ann. Otol., 1972, 81, 72-75.

SPOENDLIN H. - "The organisation of the cochlear receptor"
Advces in O.R.L., 1966, 13, S. Karger (ed.), Basel-New York.

SPOENDLIN H. - "The innervation of the organ of Corti".
J. Laryng. Otol., 1967, 81, 717-738.

SPOENDLIN H. - "Degeneration behaviour of the cochlear nerve".
Archv. Klin. Exp. Ohr Nas Kehlk.Heilk, 1971, 200 à 275-291.

SPOENDLIN H. - "Primary structural changes in the organ of Corti after acoustic overstimulation"
Acta Oto-laryngol., 1971, 71, 166-176

SPOENDLIN H. - "Innervation densities of the cochlea"
Acta Oto-laryngol., 1972, 73, 235-248.

SPRENG M. et KEIDEL W.D. - "Separierung von Cerebroaudiogramm (CAG), Neuroaudiogramm (NAG) und Otoaudiogramm (OAG) in der objective Audiometrie."
Archv. Klin. Exp. Ohr Nas Kehlkopfheilk, 1967, 189, 225-246

SPRENG M. et KEIDEL W.D. - "Problems of simple averaging of electrophysiological recordings and the use of additional methods"
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1971, Suppl. 722-738.

STEVENS S.S. et DAVIS H. - "Hearing, its psychology and physiology"
New-York, John Wiley & Sons, Inc., 1938.

TASAKI I. - "Nerve impulses in individual auditory nerve fibers of guinea pig".
J. Neurophysiol., 1954, 17, 97-127.

TASAKI I., DAVIS H. et LEGOUIX J.-P. - "The space-time pattern of the cochlear microphonics (guinea pig) as recorded by differential electrodes".
J. Acoust. Soc. Amer., 1952, 24, 502-519.

TEAS D.C., ELDREDGE D.H. et DAVIS H. - "Cochlear responses to acoustic transients : an interpretation of whole-nerve action potentials".
J. Acoust. Soc. Amer., 1962, 34, 1438-1459.

TONNDORF J. - "Time/frequency analysis along the partition of cochlear models : a modified place concept."
J. Acoust. Soc. Amer., 1962, 34, 1337-1350.

TOWSEND G.L. et CODY D.R.T. - "The average inion response evoked by acoustic stimulation : its relations to the saccule"
Ann. O.R.L., 1971, 80, 121-131.

TYBERGHEIN J. - "La cochléographie clinique : données physiologiques"
Acta oto-rhino-laryngol. Belgica, 1972, 26, 664-670.

TYBERGHEIN J. - "La valeur clinique de la cochléographie chez l'enfant".
in press in Acta oto-rhino-laryngol. Belgica, 1973.

WALTER W.G. - "The convergence and interaction of visual, auditory and tactile responses in human nonspecific cortex".
Ann. N.Y. Acad. Sci., 1964, 112, 320-361.

WALTER W.G., COOPER R., ALDRIDGE V.J., McCALLUM W.C. et WINTER A.L. - "Contingent negative variation : an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain"
Nature, 1964, 203, 380-384.

WARD W.D. et DUVALL A.J. - "Behavioral and ultrastructural correlates of acoustic trauma".
Ann. Otol., 1971, 80, 881-896.

WEVER E.G. et BRAY C.W. - "Action currents in the auditory nerve in response to acoustical stimulation "
Pro. Nat. Acad. Sci. (USA), 1930, 16, 344-350.

WEVER E.G. et LAWRENCE M. - "Physiological Acoustics"
Princeton University Press, Princeton, N.J. (USA); 1954 al 1956.

WEVER, E.G. ; LEMPERT, J. ; MELTZER, P.E. et RAMBO, J.H.T. : "The effects of injury to the lateral semicircular canal".
Trans. Am. Acad. Ophthalmo. Otolaryngol., 1956, Sept.-Oct., 718.

WEVER E.G., VERNON J.A. et LAWRENCE M. - "The nature of the cochlear potentials in the monkey"
Acta-Otolaryng. 1958, 49, 87-92.

WIEDERHOLD M.L. et KIANG N.Y.-S. - "Effects of electric stimulation of the crossed olivocochlear bundle on single auditory-nerve fibers in the cat".
J. Acoust. Soc. Amer., 1970, 48, 950-965.

WILLIAMS H.L., MORLOCK H.C. Jr, MORLOCK J.V. et LUBIN A. (1964) - "Auditory evoked responses and the EEG stages of sleep.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 112, 172-181.

YOSHIE N. - "Auditory nerve action potential responses to clicks in man".
Laryngoscope, 1968, 78, 198-215.

YOSHIE N. - "Clinical cochlear response audiometry by means of an average response computer : non-surgical technique and clinical use"
Rev. Laryngol. (Bordeaux), 1971, Suppl. 646-672.

YOSHIE N. - "Diagnostic significance of the electrocochleogram in clinical audiometry"
in press in Audiology, 1972.

YOSHIE N. et OHASHI T. - "Auditory nerve action potentials in man"
J. Otolaryngol. Soc. Jap., 1967, 70, 920-931.

YOSHIE N. et OHASHI T. - "Clinical use of cochlear nerve action potential responses in man for differential diagnosis of hearing loss."
Acta Oto-laryngol. (Stockh.), 1969, Suppl., 252, 71-87.

YOSHIE N. et OHASHIE T. - "Abnormal adaptation of human cochlear nerve action potential responses : clinical observations by non-surgical recording".
Rev. Laryngol. (Bordeaux), 1971, Suppl., 673-690.

YOSHIE N., OHASHI T. et SUZUKI T. - "Non-surgical recording of auditory nerve action potentials in man"
Laryngoscope, 1967, 77, 76-85.

YOSHIE N. et OKUDAIRA T. - "Myogenic evoked potential responses to clicks in man".
Acta Oto-laryngol. (Stockh.), 1969, Suppl. 252, 89-103.

YOSHIE N. et YAMAURA K. - "Cochlear microphonic responses to pure tones in man recorded by a non surgical method"
Acta Oto-laryngol. (Stockh.), 1969, Suppl., 252, 37-69.

BIBLIOGRAPHIE DE L'AUTEUR

1964

ARAN J.-M. and HAWKINS J.E., jr - "Comparison of the effects of Cortitoxic antibiotics and intense sound on cochlear potentials in the guinea pig".
J. acoust. Soc. Amer., 36 (Abstract).

HAWKINS J.E., jr, BEGER V. and ARAN J.-M. - "Cytoarchitectural changes in Corti's organ after kanamycin treatment and acoustic trauma".
J. acoust. Soc. Amer., 36 (Abstract).

1966

ARAN J.-M. - "Observations sur les potentiels cochléaires lors de stimulations sonores intenses".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 87, 780-784.

PORTMANN M., ARAN J.-M. et LE BERT G. - "Mise en place définitive d'une électrode sur la fenêtre ronde du cobaye".
C.R. Soc. Biol., 160, 551-556.

PORTMANN M., DE MERIA LINS M., GONZALEZ ALFARO D. et ARAN J.-M. - "Influences of the ossicular mass on the vibratory transmission, experimental study".
Int. Audiol., 5, 92-102.

1967

HAWKINS J.E., jr, BEGER V. and ARAN J.-M. - "Antibiotic insults to Corti's organ".
Sensorineural Hearing Processes and Disorders, B. GRAHAM, edit., Little-Brown-&-Co., Boston, 411-425.

PORTMANN M., DARROUZET J. et ARAN J.-M. - "Etude expérimentale sur la cellule de l'organe de Corti, conditions normale et pathologique".
Int. Audiology, 6, 380-385.

PORTMANN M., ENGSTROM H., SPOENDLIN H., DARROUZET J. et ARAN J.-M. - "La cellule sensorielle de l'organe de Corti".
Acta Otolaryng., Stockh., 63, suppl. 2-3.

PORTMANN M., LE BERT G. et ARAN J.-M. - "Potentiels cochléaires obtenus chez l'homme en dehors de toute intervention chirurgicale, note préliminaire".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 1967, 88, 157-164.

1968

ARAN J.-M. et LE BERT G. - "Les réponses nerveuses cochléaires chez l'homme, image du fonctionnement de l'oreille et nouveau test d'audiométrie objective".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 89, 361-378.

PORTMANN M., ARAN J.-M. et LE BERT G. - "Electro-cochléogramme humain en dehors de toute intervention chirurgicale".
Acta Otolaryng. (Stockh.), 65, 105-114.

1969

ARAN J.-M. et DELAUNAY J. - "Les réponses nerveuses périphériques chez le cobaye : potentiels d'action du nerf auditif évoqués par clic et sons brefs (clics filtrés) de différentes fréquences".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 90, 598-614.

ARAN J.-M., PORTMANN Cl., DELAUNAY J., PELERIN J. et LENOIR J. - "L'électro-cochléogramme : méthodes et premiers résultats chez l'enfant".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 90, 615-634.

HAWKINS J.E. Jr, JOHNSSON L.S. and ARAN J.-M. - "Comparative tests of Gentamicin ototoxicity"
The Journal of Infectious Diseases, 119, 417-426.

1970

ARAN J.-M. - "Etude du récepteur auditif".
Médecine et Hygiène (Genève), 28, 1176-1177.

ARAN J.-M. - "Comment "voir" le fonctionnement de l'ouïe".
La Recherche (Atomes), Paris, 1, 574-575.

1971

ARAN J.-M. - "The Electro-cochleogram : recent results in children and in some pathological cases".
Arch. Klin. exp. Ohr.-,Nas.-u. Kehlk.Heilk., 198, 128-141.

ARAN J.-M. et PORTMANN M. - "L'Electro-cochléogramme".
J. Frs d'O.R.L., 21, 211-221.

ARAN J.-M. - "Patterns of human electro-cochleographic responses - Normal and pathological".
J. acoust. soc. Amer., 49, 112 (Abstract).

ARAN J.-M. - "L'Electro-cochléogramme : I - Principe et Technique".
Cahier de la C.F.A., n° 12, Paris, 45 p.

L'Electro-cochléogramme : II - Résultats".
Cahier de la C.F.A., n° 13, Paris, 53 p.

ARAN J.-M. - "Electro-cochléographie".
La Presse Médicale, 79, 1847-1848.

ARAN J.-M., CHARLET de SAUVAGE et R.PELERIN J. - "Comparaison des seuils électro-cochléographiques et de l'audiogramme. Etude statistique".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 92, 477-491.

ARAN J.-M. et DELAUNAY J. - "Etude électro-physiologique de l'audition humaine".
Rev. Acoustique, 4, 91-94.

ARAN J.-M. et PELERIN J. - "Les données pratiques apportées par l'électro-cochléographie chez l'enfant".
Rev. Pédiatrie, 7, 35-42.

ARAN J.-M., PELERIN J., LENOIR J., PORTMANN Cl. et DARROUZET J. - "Aspects théoriques et pratiques des enregistrements électro-cochléographiques selon la méthode établie à Bordeaux".
Rev. Laryng. (Bordeaux), 92, 601-644.

PORTMANN M. et ARAN J.-M. - "Electro-cochléographie chez le nourrisson et le jeune enfant, méthode d'audiométrie objective".
Acta Otolaryng. (Stockh.), 71, 253-261.

PORTMANN M. et ARAN J.-M. - "L'électro-cochléogramme dans le diagnostic périphérique de la surdité".
in La Surdité du Premier Age, J.C. LAFON, Camponovo édit., Besançon, 252-261.

PORTMANN M. and ARAN J.-M. - "Electro-cochleography".
The Laryngoscope (St Louis), 81, 899-910.

1972

ARAN J.-M. - "L'électro-cochléogramme : III - Essai d'interprétation".
Cahier C.F.A., n° 14, Paris, 28 p.

ARAN J.-M. - "Données nouvelles apportées par l'électro-cochléographie sur le fonctionnement du récepteur périphérique normal et pathologique".
Acta Oto-laryngologica Belgica, 26, 671-683.

ARAN J.-M., PORTMANN M., PORTMANN Cl. et PELERIN J. - "Electro-cochléogramme chez l'adulte et chez l'enfant : étude électro-physiologique du récepteur périphérique".
Audiology, 11, 77-89.

PORTMANN M. et ARAN J.-M. - "Relations entre "pattern" électro-cochléographique et pathologie rétro-labyrinthique".
Acta Otolaryng. (Stockh.), 73, 190-196.

1973

CHARLET de SAUVAGE R. et ARAN J.-M. - "L'électro-cochléogramme normal"
Rev. Laryng. (Bordeaux), 94, 93-107.

PORTMANN M., ARAN J.-M. et COSTE Ch. - "Vérification expérimentale sur l'animal de quelques aspects électro-cochléographiques de la pathologie humaine".
Acta Otolaryng. (Stockh.), 75, 132-142.

PORTMANN M., ARAN J.-M. et LAGOURGUE P. - "Testing for recruitment by electrocochleography. Preliminary results".
Ann. Otol (St. Louis), 82, 36-43.

Articles sous presse

ARAN J.-M. - "Clinical measures of eighth nerve function".
(in Advances in Otolaryngology, S. KARGER, Basel, New-York).

ARAN J.-M. et NEGREVERGNE M. - "Aspects cliniques de quelques formes pathologiques particulières des réponses du nerf auditif chez l'homme".
(in Audiology).

TABLE DES MATIERES

I N T R O D U C T I O N 1

1.- L'étude objective des phénomènes auditifs chez l'homme : les différentes approches. 3

11 L'électro-encéphalographie auditive 3

12 L'électro-corticographe 4

13 L'impédancemétrie 5

14 Possibilités et limitations de ces approches 5

2.- Les phénomènes électriques périphériques 7

21 Réponses sensorielles 7

211 Potentiel microphonique cochléaire (MC) 7
212 Potentiel de sommation 9

22 Réponses nerveuses 9

221 Réponses unitaires 9
222 Réponses globale 9

3.- Intérêt de l'étude du potentiel d'action globale du nerf auditif 10

PREMIERE PARTIE - ETUDE DU POTENTIEL D'ACTION GLOBAL DU NERF AUDITIF CHEZ L'HOMME 13

1.- METHODE D'OBSERVATION "ELECTRO-COCHLEOGRAPHIE" 14

11 Historique 14

12 Le principe 19

121 Choix de la position de l'électrode 19
122 Nature de la réponse recherchée 23
123 Nature des stimulations 24
124 Mise en évidence de la réponse 26
125 Elimination du microphonique 28
126 Nature exacte de la réponse 30

13 Matériel 30

131 Electrodes 31
132 Accessoires 35
133 Stimulations 35
134 Amplification 39
135 Contrôle du signal à l'oscilloscope 39
136 Moyenneur 39
137 Observation et enregistrement de la moyenne 44
138 Synchronisation 44
139 Délai 44

14 Protocole 45

141 Mise en place des électrodes 45
142 Protocole d'enregistrement 46
143 Conditions particulières chez l'enfant 49
144 Après l'examen 50
145 Mesures 50
146 Présentation des résultats 52

2.- RESULTATS 55

21 Réponses normales 57

211 Réponses normales chez l'adulte 58
212 Réponses normales chez l'enfant 61
213 Différence adulte-enfant normaux 63

22 "Transmission" 66

23 Réponses "recrutantes" 71

24 Réponses "dissociées" 80

25 Les réponses larges 88

26 Réponses "anormales" 94

261 Réponses anormales type 94
262 Cas particuliers 103

27 Les cas moins typiques 107

271 Cas des surdités "Mixtes" 107
272 Les autres cas 108

28 Classification générale 110

29 Cas des surdités centrales 112

210 Comparaison des seuils électro-cochléographiques et des seuils audiométriques 116

3.- ESSAI D'INTERPRETATION 122

31 Données actuelles sur la structure et le fonctionnement du récepteur périphérique 122

311 Diffusion des phénomènes électriques 122
312 Elaboration de la réponse globale 123
313 L'oreille moyenne 124
314 Le fonctionnement mécanique de l'oreille interne 126
315 Organisation et distribution des fibres 129
316 Fonctionnement des fibres 133

32 Réponses normales 136
33 Réponses recrutantes 139
34 Comparaison avec l'effet de masque 141
35 Réponses dissociées 144
36 Réponses larges et anormales 148
361 Troubles vasculo-tensionnels du labyrinthe 148
362 Pathologie rétro-labyrinthique 150
37 Les cas intermédiaires 152
38 Sensation auditive et fonctionnement du récepteur 154

DEUXIEME PARTIE - VERIFICATION EXPERIMENTALE 156

INTRODUCTION 157

1.- LES REPONSES NORMALES CHEZ L'ANIMAL 162
11 Les réponses électro-cochléographiques chez le singe normal 162
111 Protocole expérimental 163
112 Résultats 163
12 Les réponses globales du nerf auditif chez le cobaye normal 167
121 Méthodes 167
122 Résultats 172
123 Réponses aux clics filtrés 177
124 Réponses aux clics filtrés basse fréquence 177
125 Spécificité des stimulations et des réponses 185

2.- REPONSES PATHOLOGIQUES CHEZ LE COBAYE 188
21 Défauts de transmission 188
22 Réponses pathologiques après agression cochléaire 190
221 Traumatisme sonore 190
222 Antibiotique ototoxique 216

3.- DISCUSSION 233
31 Comparaison des réponses normales chez le cobaye, le singe et l'homme 233
311 L'amplitude maximale 235
312 Latences, largeur de N1 236
313 Le plateau 237
314 Les autres pics N2, N3 238
32 Discussion des observations sur la pathologie expérimentale en fonction des observations chez l'homme 239
321 Formes des réponses 240
322 Remarques à propos de la largeur des réponses dissociées 244
323 Lésions cochléaires 245
324 Nature de la réponse enregistrée 246

R E S U M E 250

B I B L I O G R A P H I E 258